

Aus dem Institut für zahnärztliche Werkstoffkunde und
Technologie der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
(Leiter: Prof. Dr. H. Marx)

Experimentelle Untersuchungen der Wasseraufnahme, Abrasion und Farbbeständigkeit von Reparaturmaterialien für die Metallkeramik

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von
Michael Kern
aus Kaiserslautern

Mainz 1981
—

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für zahnärztliche Werkstoffkunde und
Technologie der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
(Leiter: Prof. Dr. H. Marx)

Experimentelle Untersuchungen der Wasseraufnahme, Abrasion und Farbbeständigkeit von Reparaturmaterialien für die Metallkeramik

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von
Michael Kern
aus Kaiserslautern

Mainz 1981



Dekan: Professor Dr. med. K.-H. Bäßler
1. Gutachter: Professor Dr. med. dent. H. Marx
2. Gutachter: Professor Dr. med. dent. K. Fuhr
Tag der mündl. Prüfung: 9. Dezember 1981

1. Einleitung	1
2. Versuchsmaterialien	3
3. Abriebversuche	9
3.1. Methoden	9
3.2. Herstellen der Prüfkörper	11
3.3. Wässern und Quellung	12
3.3.1. Einführung	12
3.3.2. Durchführung	13
3.3.3. Auswertung	15
3.4. Abrasionsgerät	16
3.5. Ergebnisse	19
4. Farbbeständigkeit	22
4.1. Einleitung	22
4.2. Einteilung der Verfärbungen	23
4.2.1. Exogene Faktoren	23
4.2.1.1. Beimischverfärbungen	23
4.2.1.2. Kontaktverfärbungen	23
4.2.1.3. Infiltrationsverfärbungen	23
4.2.2. Endogene Faktoren	24
4.2.2.1. Oxydationsverfärbungen	24
4.2.2.2. Verfärbungen durch Temperatureinfluß	24
4.2.2.3. Bestrahlungsverfärbung	24
4.2.3. Zusammenwirkung der Einzelursachen bei Be- lichtungsversuchen	25
4.3. Belichtungsgerät	26
4.4. Farbmessung	28
4.4.1. Visuelle Verfahren	28
4.4.2. Physikalische Methoden	28
4.4.2.1. Das Spektralverfahren	28
4.4.2.2. Das Dreibereichsverfahren	29

4.5. Farbmeßgerät	33
4.6. Herstellen der Prüfkörper	35
4.7. Versuchsablauf	36
4.7.1. Farbbeständigkeit	36
4.7.2. Lichtechtheit	36
4.8. Ergebnisse	37
4.8.1. Farbbeständigkeit	37
4.8.2. Lichtechtheit	40
4.9. Diskussion der Ergebnisse	46
4.10. Kritische Stellungnahme zu vorgeschriebenen Prüfmethoden	47
 Zusammenfassung	 49
1. Wasseraufnahme	49
2. Ergebnisse der Tests der Abriebfestigkeit	49
3. Prüfung der Farbbeständigkeit	50
4. Ergebnis der Untersuchung	50
 Literaturverzeichnis	 51
 Anhang: Tabellen	 57

1. EINLEITUNG

Vor etwa 15 Jahren wurde die metallkeramische Verblendtechnik für Brücken und Kronen in Deutschland eingeführt. Die immer häufigere Anwendung dieser Technik war bedingt durch ihre zahlreichen Vorteile: Diese bestehen gegenüber einer Kunststoffverblendung vornehmlich in der Ästhetik (Farbe, Farbbeständigkeit), der Körperfreundlichkeit und der Mundbeständigkeit.

Mit der häufigeren Anwendung stieg jedoch die Zahl der Fälle, in denen es beim Einsetzen oder - besonders bedauerlich - erst danach zu Schäden kam (1, 62). Als Ursache der Schäden (Risse oder Abplatzen von Keramikteilen) nennt BAKLAND (1):

- 1) Fehler beim Einsetzen,
- 2) Haarrisse in der Verblendung,
- 3) fehlerhafte Bearbeitung beim Brennen,
- 4) Traumen im Mund des Patienten,
- 5) fehlerhafte Artikulation, bzw. Ausbildung von Artikulationshindernissen.

Nach KERSCHBAUM und VOSS (40) betrifft die Häufigkeit solcher Schäden 2,2 % aller eingesetzten Arbeiten. Der Hauptnachteil der metallkeramischen Verblendung besteht darin, daß eine sowohl leicht durchführbare wie für den Patienten ästhetisch akzeptable Möglichkeit fehlt, diese Schäden reparieren zu können. Schwierigkeiten liegen zum einen darin, eine geeignete Retentionsmöglichkeit auf dem Keramik- bzw. Metallkörper zu finden, zum anderen darin, höchstmögliche Farbgleichheit zwischen Reparaturmaterial und Zahnersatz zu gewährleisten. Auch soll die Reparaturmasse den gleichen mechanischen Belastungen wie der Keramikkörper standhalten und nicht durch vorzeitige Abrasion abgenutzt werden.

Sinn dieser Arbeit soll sein, einige der seit verhältnismäßig kurzer Zeit auf dem Markt befindlichen "Porzellan-Reparaturmassen" hinsichtlich bestimmter praxisrelevanter mechanischer und chemisch-physikalischer Eigenschaften (Wasseraufnahme, Abrasionsverhalten, Farbbeständigkeit bei Bestrahlung) zu untersuchen.

2. VERSUCHSMATERIALIEN

Folgende, auf dem Dental-Markt angebotenen "Porzellan-Reparaturmassen" wurden untersucht:

- 1) Den-Mat,
- 2) Ceramat,
- 3) Enamelite 500,
- 4) Facett-on,
- 5) Restorative Resin.

zu 1) Den-Mat wird angeboten von der Firma Renfert (Singen) in folgender Handelsform: Den-Mat, Keramik-Reparatur Set Nr. 5882.



Abb. 1: Originalpackung
Den-Mat, Keramik-
Reparatur Set

Das Set enthält: Priming Agent, Bonding Agent, Metall-Opaquer, Resin-Flüssigkeit; außerdem Porcelain-repair-powder in sechs verschiedenen Farben, bzw. einer Universalfarbe.

Werkzeuge: Anmischblock, Meßlöffel, Kunststoffspatel.

Den-Mat enthält nach Angaben des Herstellers weder Methacrylat noch Cyanacrylat. Es soll im Kühlschrank gelagert werden und darf nicht dem Sonnenlicht ausgesetzt sein. Analog zur Keramikreparatur ist es

zur Kunststoffreparatur geeignet. Zu Reparaturzwecken muß eine Stufe einschließlich einer 1 mm breiten Ansrägung in die Keramik präpariert werden. Danach soll die Reinigung mit dem Beiprodukt "Priming Agent" und die Haftvermittlung mit "Bonding Agent" erfolgen; freiliegende Metallteile können mit "Opaquer" abgedeckt werden. Einen Meßlöffel des Reparaturpulvers vermischt man mit 1 Tropfen Resin; nach dem Abbinden (~ 2 Min.) wird das Material mit Sandpapierscheiben und Silikonpolierern nachgearbeitet. Einwandfreie Ergebnisse sollen dann erreicht werden, wenn noch 60 % keramische Haftfläche vorhanden ist.

zu 2) Ceramat wird ebenfalls durch die Firma Renfert (Singen) in folgender Handelsform vertrieben: Ceramat, Set Nr. 5872.



Abb. 2: Originalpackung Ceramat.

Dieses Set enthält folgende Beigaben: Primer, Bond Sol, 2 Resin-flüssigkeiten, 2 verschiedene Metallopaquer, Reparaturpulver in acht verschiedenen Farben, ein Anmischblock, ein Meßlöffel, Kunststoff-Füllinstrumente und Anmischspatel, ferner eine Farbvergleichstabelle. Bei Ceramat handelt es sich um ein verbessertes Nachfolgeprodukt von Den-Mat. Es stehen nun 8 Farben und zwei verschiedene Opaquer (weißlich-grau und gelblich-weiß)

zur Verfügung. Dieses Material ist längerstabil (über 5 - 6 Jahre, währenddessen eine Aufbewahrung im Kühlschrank nicht nötig ist), die Haftfähigkeit auf Gold und Keramik soll erhöht worden sein. Die Verarbeitung erfolgt ebenso wie bei Den-Mat, jedoch können nach dem Auftragen Zelluloid-Strips verwendet werden, um das Polieren zu vereinfachen.

zu 3) Enamelite 500 wird von der Firma Lee Pharmaceuticals in Frankfurt hergestellt.

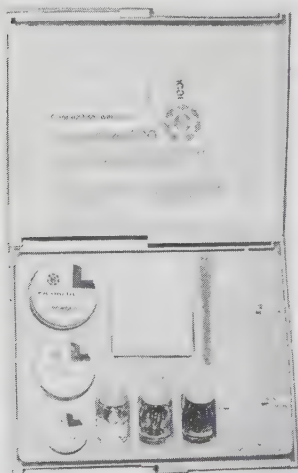


Abb. 3: Originalpackung
Enamelite 500.

Die Handelsform enthält folgende Einzelprodukte: Etching Agent (für Schmelzdefekte), Primerflüssigkeit, Opaquer Pulver, zwei verschiedenfarbige Flüssigkeiten. Als Werkzeuge sind beigelegt: ein Anmischblock, Pinsel, Kunststoffspatel und Füllinstrumente. Der Hersteller gibt folgende Zusammensetzung an:

Flüssigkeit: Diglycidylmethacrylate ether of bisphenol A (Bis/GMA), Dimethacrylate ester of etholylated bisphenol A (EBA), Triethylene glycol dimethacrylate (T_3 EGDMA), Butylated hydroxytoluene (BHT), N,N-bis(2-hydroxyethyl)-p-toluidine (BHET), Methoxy-hydroxybenzophenone (MHBP).

Pulver: Amorphus silica, Benzoyl peroxide (BPO), Magnesium oxide-zinc oxide pigment, Methacryoyl trihydroxy silane coupling agent. Die Zusammensetzung des Primers ist Firmengeheimnis.

Das Material eignet sich zur Reparatur für die Keramik- und Kunststofftechnik, außerdem zur Beseitigung von Schmelzdefekten. Um eine genauere Farbanpassung zu erzielen, wählt man zwischen zwei verschiedenen Anmischflüssigkeiten (Universal und helle Farbschattierung); ferner werden die Flüssigkeiten in den Farben gelb, grau und braun angeboten. Bei Keramikschäden werden die Einzelprodukte folgendermaßen angewandt: zunächst wird die Oberfläche aufgeraut, worauf ein zweimaliger "Primer"-Überzug erfolgt. Je ein Meßlöffel Pulver wird mit einem Tropfen Flüssigkeit vermischt, evtl. wird "Opaquer" hinzugegeben. Das Auftragen erfolgt in dünner Schicht, nach 5 Minuten kann finiert und poliert werden.

zu 4) Facett-on, ein Produkt der Firma Hager & Werken (Duisburg) wird in einem Reparatur-Set mit folgenden Bestandteilen angeboten: Universalpulver, Flüssigkeit, Tinter, Opaquer, Spatel, Mischblock und Meßlöffel.

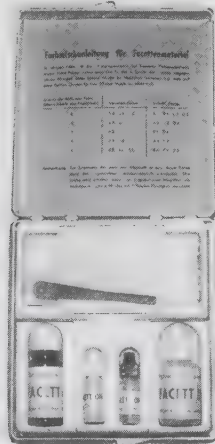


Abb. 4: Originalpackung Facett-on.

Nach Herstellerangaben eignet sich Facett-on für Facettenaufbau, Reparatur frakturierter Porzellankronen und Wiederbefestigung abgefallener Facetten.

Im Praxisfall wird das Material nach dem Säubern und Trocknen des Defektes angemischt, indem drei Tropfen auf einen Meßlöffel Pulver gegeben werden; zur Farbanpassung werden bestimmte Mengen "Tinter" zugegeben. Metalloberflächen deckt man vorher mit einer "Opaquer"-Flüssigkeitsmischung ab. Nach zehn-minütiger Erhärtungszeit wird die Oberfläche bearbeitet und poliert.

zu 5) Restorative Resin von Nu-Dent bietet die Firma Dentax, Karl Huber (Karlsruhe) an.



Abb. 5. Originalpackung
Nu-dent
Restorative Resin.

Die abgepackte Handelsform enthält: Reparatur-Flüssigkeit und -pulver, "Opaquer"-Flüssigkeit und Pulver, außerdem eine Pipette. Das Produkt wird als Reparaturmaterial für Erneuerungen, Ausbesserungen und Farbkorrekturen an Kronen- und Brückenarbeiten bezeichnet. Zur Farbanpassung werden zusätzlich die Kunststoff-Farben "Resin-Stain" angeboten.

In der Anwendung wird zunächst der zerstörte Kunststoffbelag entfernt und Gold mit einer "Opaquer-Flüssigkeits"-Mischung (im Verhältnis 1:1) abgedeckt, dann "Restorative Resin"-Pulver und Flüssigkeit angemischt (im Verhältnis 1:1) und schichtweise aufgetragen. Die Aushärtung erfolgt während etwa zehn Minuten, anschließend kann die Oberfläche bearbeitet und mit dem Kunststofflack "Glaze" überzogen werden.

3. ABRIEBVERSUCHE

3.1. Methoden

Über die Ursachen der natürlichen Abrasion besteht in der wissenschaftlichen Literatur weitgehende Obereinstimmung. MAYER (50) und HENKEL (33) nennen hauptsächlich:

- 1) schleifende Nahrungsbestandteile,
- 2) Kontaktreibung der Zähne während des Kauens,
- 3) Gegeneinanderreiben der Zähne, unabhängig vom Kauakt (Knirschen, Pressen, "bad habits").

Dazu kommt nach Kh. SCHMITZ (60) die Anwendung von Bürste und Reinigungspaste.

Dagegen herrschen viele unterschiedliche Meinungen darüber, wie in einer gültigen Versuchsanordnung dieser Prozeß der Abrasion im Modell nachzuahmen ist. Obereinstimmung herrscht allein bezüglich der Tatsachen, daß erstens die Versuchsergebnisse verschiedener Methoden nicht untereinander vergleichbar sind, und deshalb ausschließlich die relative Rangfolge von Bedeutung ist, und daß zweitens die auf Grund genormter Bedingungen gewonnenen Härtemessungen nicht in die Diskussion einbezogen werden können, da die Rangfolge nach der Härte sich zum Teil von der Rangfolge nach den Abrasionsversuchen unterscheidet (7, 28, 33, 35, 49, 65, 66). Die meisten Autoren sind sich über die Notwendigkeit einig, folgende Forderungen nach BIESKE (5) zu beachten:

- 1) während des Versuchs muß ständig Feuchtigkeit herrschen,
- 2) Prüfkörper müssen vorher ungefähr 30 Tage gewässert werden,
- 3) die Abriebflächen müssen gleich groß sein,
- 4) Dauer, Länge des Abriebweges, Belastung müssen gleich bleiben,
- 5) Gegenkörper müssen gleiche Korngröße zeigen,
- 6) der Versuchsaufbau soll möglichst einfach sein.

Weniger Einigkeit besteht dagegen über die Art und Weise, wie diese Forderungen definiert und praxisnah erfüllt werden können. Besonders hinsichtlich des Versuchsaufbaus sind verschiedene Methoden vorgeschlagen worden:

1) Versuche mit Bürste und Reinigungspaste bzw. Bims:

- | | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| STREITL (64) 1974: | mit Bürste und Bims, |
| UETZ und FOEHL (66) 1976: | mit Bürste und Paste |
| HOTZ (36) 1978: | mit elektrischer Bürste und Bims. |

2) Versuche mit antagonistischem Gegenkörper mit oder ohne Zwischenkörper:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| SCHRÖDER (62) 1951, MEYER (49) 1955: | "Castagnola/Rothen-Gerät" (Scotch Test) Prüfkörper gegen Silber-Vanadiumstahl, |
| BIESKE (5) 1968: | Prüfkörper gegen Silberplatte, |
| FRENKEL (27) 1971: | Kunststoffplatte gegen extrahierte 8er, |
| HÜHNLE (35) 1971: | Kunststoffzähne im Artikulator, |
| BEGE (4) 1975, | Kunststoff- und Goldkörper im |
| GALLER (28) 1977: | Vota-Einschleifgerät. |

3) Klinische Methoden:

- | | |
|--------------------|--|
| RITZE (56) 1961: | Messung der Bißsenkung bei Prothesen |
| ROULET (57) 1978: | Messung der Abrasion von Füllungen, |
| RARISCH (52) 1979: | Messung der Abrasion von Kunststoff-Zähnen in Teilprothesen. |

4) Industrielle Methoden:

- | | |
|-------------------------------------|--|
| TAEGER (65) 1961, BREMSER (7) 1971: | industrielle Abrieb-Prüfmaschine Nr. 6101 mit Schmirgelpapier nach DIN 53516 (21). |
|-------------------------------------|--|

Im Hinblick auf die Zielvorstellung bot sich das Vorgehen von BEGER (4) und GALLER (28) als die Methode der Wahl an. Die sechs Forderungen nach BIESKE sind hiermit zu erfüllen: die Versuchsanordnung ist überschaubar, die Randbedingungen sind zu erfassen, und der Ablauf berücksichtigt die physiologischen Gegebenheiten der Mundhöhle zufriedenstellend.

3.2. Herstellen der Prüfkörper

Von jedem Kunststoff wurden sechs Prüfkörper hergestellt. Dazu wurde eine stabile Messingform benutzt, die sich in der Mitte symmetrisch teilen ließ. Genau in der Teilungsstelle wurden vier Bohrungen von exakt 5 mm Durchmesser und 15 mm Länge angebracht. Das Ende des Bohrlochs war halbkugelförmig ausgefräst. Um die Polymerisationsschrumpfung möglichst auszugleichen, wurde nach dem Einfüllen eines jeden Kunststoffes die Messingform mit einem Deckel mit 1 mm langen Zapfen geschlossen, die sich genau in die Bohrungen einlagern konnten.



Abb. 6. Messingform zur Herstellung der Prüfkörper.



Abb. 7. Schematische Darstellung des Prüfkörpers für Abrasionsversuche.

Nach vorschriftsmäßigem Anmischen der Reparaturmaterialien wurde der jeweilige Kunststoff in kleinen Portionen in die auf einem Vibrator stehende Form eingefüllt, der Deckel aufgesetzt und mit einem Gummiband fixiert. Da einige Materialien (besonders Facett-on und Restorative Resin) sehr fest an der Messingform hafteten, wurde vorher mit Vaseline dünn isoliert. Das Abbinden dauerte je nach Material 3 - 10 Minuten. Danach wurde die Form mit einem Küvettenschlüssel geöffnet, um die Prüfkörper zu entnehmen. Abschließend wurden die Körper auf Lufteinschlüsse geprüft, entgratet und numeriert.

3.3. Wässern und Quellung

3.3.1. Einführung

Da die Prüfkörper bei den Abrasionsversuchen mit Wasser abgespült wurden, war es notwendig, sie vorher zu wässern, um Gewichtsänderungen aufgrund von Wasseraufnahme während des Versuchs zu verhindern.

Die Wasseraufnahme von Kunststoffen ist ein rein physikalischer Vorgang. Sie ist reversibel und hängt (nach SANTORIK; 58) in erster Linie von der Struktur der Moleküle und von der Artverwandtschaft zum Lösungsmittel ab. REINHARDT und VAHL (54) sprechen von einem "diffusionskontrollierten reversiblen Prozeß".

Die Aufnahme selbst läuft in drei Schritten ab (8, 9, 58, 61):

- 1) Auffüllen der Poren,
- 2) Ersatz des sich lösenden Monomers,
- 3) eigentliche Quellung, verbunden mit Volumenänderung.

Durch Verringerung der Zahl der van der Waalschen Bindungen und Auseinanderdrängen der Kettenmoleküle durch das eindringende Wasser (Solvatation) kommt es nach GERHARDT (29), HENKEL (32) und HOUWINK (38) zu einer Herabsetzung der mechanischen Festigkeit des Kunststoffes.

Die Autoren (4, 8, 9, 28, 29, 38, 54, 55, 58, 61) maßen an verschiedenen untersuchten Kunststoffen für die Wasseraufnahme Werte zwischen 0,5 - 4 Gewichtsprozent.

Nach RITZE (55) spielen die unterschiedlichen Lagertemperaturen (von 20° bis 36°C) für die Wasseraufnahme keine ausschlaggebende Rolle. HOUWINK (38), BEGER (4) und GALLER (28) konnten feststellen, daß Kunststoffe mit anorganischen Füllkörpern etwa 50 % geringere Wasseraufnahme zeigen.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Zeitdauer der Wasserlagerung. Obwohl die Aufnahmerate mit der Zeit geringer wird, scheinen die Proben auch nach langem Wässern nicht vollständig gesättigt; jedoch sind die Zuwachsraten nach ungefähr 30 Tagen so gering (4, 28), daß bei dem etwa 90 Minuten dauernden Abrasionsversuch Meßfehler aufgrund vermehrter Wasseraufnahme weitestgehend ausgeschlossen werden können.

3.3.2. Durchführung

Die Prüfkörper wurden 24 Stunden nach Fertigstellung in destilliertes Wasser von 22°C gelegt. Die sieben Wägungen während der 35 Tage dauernden Wässerung erfolgten mit einer Analysenwaage (Meßgenauigkeit 0,1 mg). Die Körper wurden mit der Pinzette einzeln dem Bad entnommen, mit einem nicht fasernden Papiertuch oberflächlich getrocknet und gewogen (FDI Spezifikation Nr. 3; 26). Nach drei Wägungen wurde der Mittelwert der Meßwerte gebildet.

Nach Abschluß der Abrasionsversuche wurden die Prüfkörper dem Wasserbad entnommen und ebenfalls gewogen. Sie waren nun für 24 Stunden der normalen Zimmerluftfeuchtigkeit (ungefähr 70 %) ausgesetzt, währenddessen die Wasserabgabe gemessen wurde.

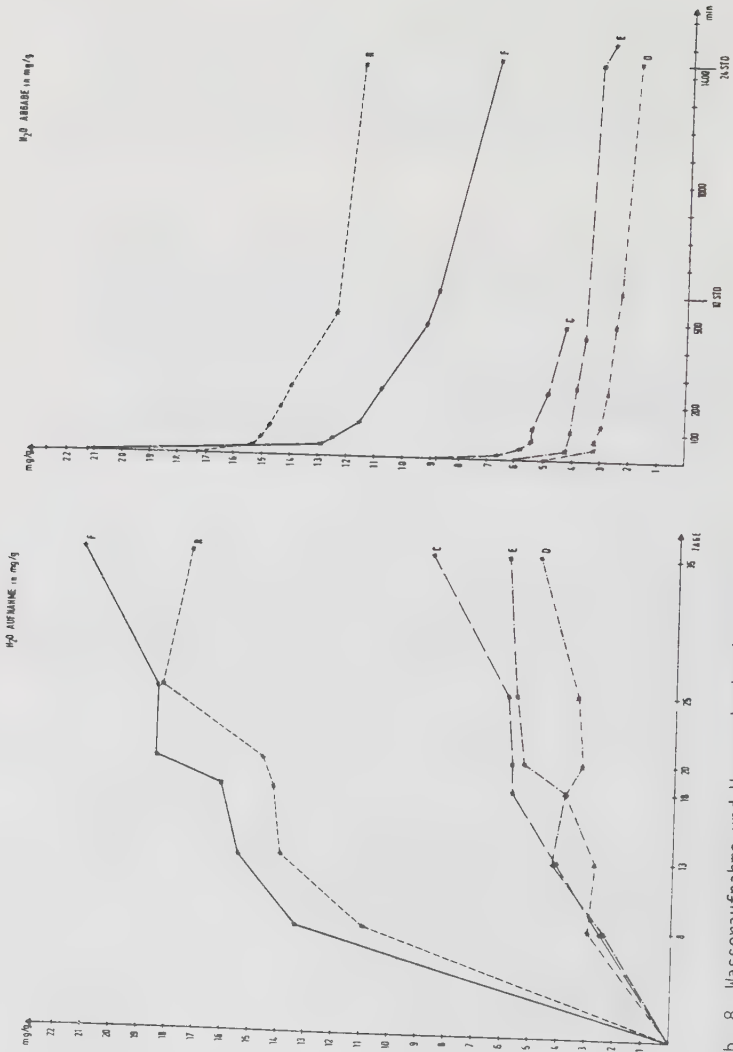


Abb. 8. Wasseraufnahme und Wasserabgabe der Kunststoffe Ceramat (C), Den-Mat (D), Enamelite (E), Facett-on (F) und Restorative Resin (R).

3.3.3. Auswertung

Wie angenommen, ist auch nach 35 Tagen bei keinem Material Massenzunahmekurven gegen Ende nur noch sehr langsam ansteigen. Die Wasseraufnahme¹ beträgt für Den-Mat 5,0, für Enamelite 6,1, für Ceramat 8,8, für Restorative Resin 17,4 und für Facett-on 21,3 Massepromille.²

Im einzelnen ist festzuhalten, daß die Proben Facett-on und Restorative Resin 3 bis 4 mal soviel Wasser aufnehmen wie die übrigen Fabrikate.

Interessant ist das Verhalten hinsichtlich der Wasserabgabe: Bereits nach 5 Stunden geben alle Materialien außer Restorative Resin die Hälfte des aufgenommenen Wassers wieder ab. Letzteres gibt in derselben Zeit nur etwa ein Fünftel des Wassers ab.

Generell scheint der Abgabevorgang zumindest anfangs schneller zu sein als die Aufnahme: während 24 Stunden geben die Körper die gleiche Menge Wasser ab, die sie zuvor in mehr als 8 Tagen aufgenommen haben.

1 Nach der FDI-Vorschrift Nr. 3, 26 soll die Wasseraufnahme in mg pro cm² Oberfläche angegeben werden. Die neuere DIN-Vorschrift (17) jedoch empfiehlt wieder die Größe Gewichtsprozent bzw. Masseprozent. Da das Maß mg/cm² an die Gestalt der Proben gebunden ist (Scheiben von 50 mm Durchmesser und 0,5 mm Höhe) erfolgten die Angaben in mg/g (= Massepromille).

2 Da bei den Messungen die eventuelle Monomerabgabe an das Wasser nicht erfaßt werden konnte, ist die tatsächliche Wasseraufnahme jeweils etwas größer, insgesamt aber vernachlässigbar.

3.4. Abrasionsgerät

Die Abriebversuche wurden mit einem Dox-Einschleifgerät der Firma Jota vorgenommen, das mit einem Elektromotor gekoppelt wurde (vgl. 4 und 28).

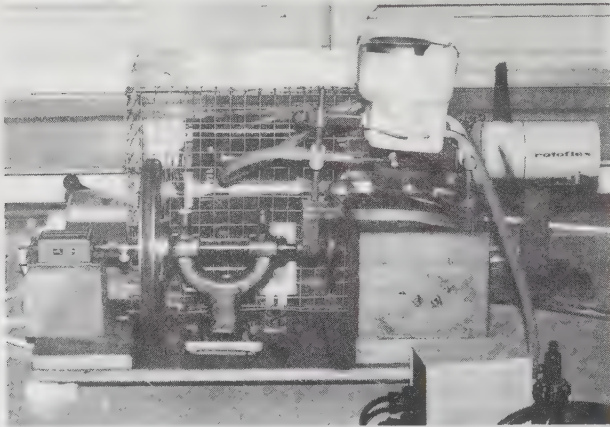


Abb. 9. Das Abrasionsgerät.

Im Zentrum des Einschleifgerätes standen sich Prüfkörper und Gegenkörper mit einer "Kaukraft" von 21 Newton entgegen. Den Gegenkörper bildete ein gebrannter zylindrischer Keramikstab, dessen Oberfläche nach jedem Einzelversuch mit einem großen Silentstein aufgeraut wurde.

Der Keramikzylinder beschrieb durch die Excenterbewegung des Führungsstiftes im Yota-Gerät auf dem Prüfkörper eine kleine Ellipse mit einem Umfang von ungefähr 4,9 mm.

Da das Zählwerk im Verhältnis 1:3,57 zur Antriebsachse arbeitete und 10 000 Umdrehungen des Zählwerkes einen Versuchsablauf darstellten, war der Gesamtabrasionsweg 175 m lang.¹

Die Auswahl der Reihenfolge der sechs Prüfkörper eines jeden Fabrikates erfolgte willkürlich.

1 10 000 Umdrehungen der Hauptachse = 35 700 Abriebumdrehungen
 35 700 Umdrehungen mal 4,9 mm = 175 m.

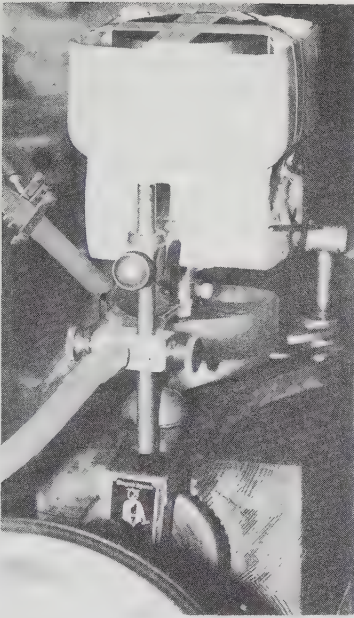


Abb. 10. Dox-Einschleif-
gerät mit Wasserspülung.

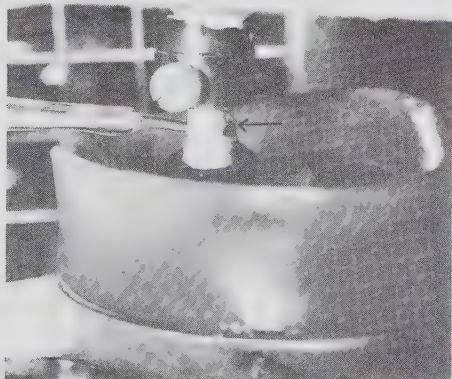


Abb. 11. Prüfkörper (←) und
Keramikgegenkörper im Einschleifgerät.

Vor dem eigentlichen Versuch wurde die Oberfläche der Proben nochmals hinsichtlich scharfer Kanten und Grate untersucht, dann wurden sie probeweise eingespannt und markiert, um eine reproduzierbare Position zu erhalten; danach wurde die Masse des Prüfkörpers vor Versuchsbeginn bestimmt. Während des 90-minütigen Versuches wurde die Abrasionsfläche mit 36°C temperiertem, destilliertem Wasser abgespült, damit keinerlei zusätzliche Schleifmittel den Abrieb beeinflussen konnten.

Jede Probe wurde zu Beginn des Versuches und nach 1000, 5000 und 10 000 Umdrehungen auf einer Analysenwaage mit einer Genauigkeit von 1/10 mg gewogen. Der Abrasionsverlust des Keramikgegenkörpers wurde für jedes Material nach Ende des Versuches mehrmals durch Wägung bestimmt und daraus ein Durchschnittswert ermittelt.

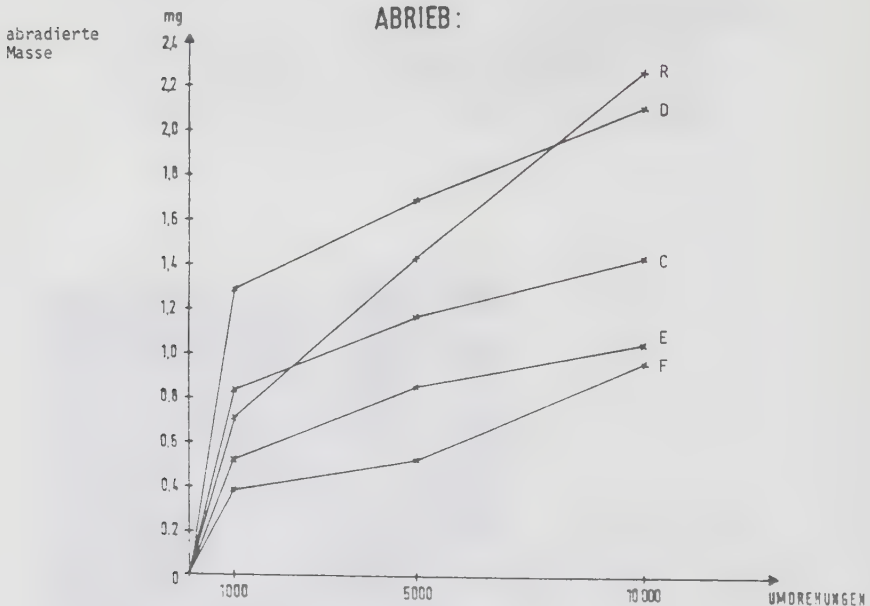


Abb. 12 : Abrieb der Kunststoffe C (Cerammat), D (Den-Mat), E (Enamelite), F (Facett-on) und R (Restorative Resin). Gemessen wurden die abradierten Massen in Abhängigkeit der Umdrehungen des Abrasionsgerätes.

Unter der Annahme einer weitgehend linearen Abhängigkeit zwischen Zahl der Abriebzyklen und abradierter Masse können die Ergebnisse (s. Anhang S. 63 - 67) auch so zusammengefaßt werden, daß man den Masseverlust/1000 Zyklen berechnet. Es ergibt sich folgende Tabelle:

Material	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Abweichung zu Mess. 2
	1 - 1000	1000 - 5000	5000 - 10000	
	$\frac{\Delta m_g}{1000}$	$\frac{\Delta m_g}{1000}$	$\frac{\Delta m_g}{1000}$	%
Ceramart	5,0	0,5	0,3	-40
Den-Mat	7,7	0,6	0,5	-17
Enamelite	3,1	0,5	0,25	-50
Facett-on	2,3	0,2	0,5	+250
Restorative Resin	4,2	1,1	1,0	-10

Tab. I: Summe des Abriebs aus je 6 Prüfkörpern bezogen auf 1000 Abriebzyklen.

Vergleicht man die in Tabelle I aufgeführte Auswertung der Abrasionsversuche mit den Abriebangaben, die graphisch in Abb. 12 dargestellt sind, ergeben sich zwei unterschiedliche Beurteilungskriterien: zum einen die Beurteilung nach dem spezifischen Abrieb, zum anderen die nach dem Gesamtabrieb von 10 000 Zyklen.

Eine Beurteilung nach dem Gesamtabrieb müßte berücksichtigen, daß gewisse Formungenauigkeiten der Prüfkörper zu Beginn des Versuches bestehen, weil es fast unmöglich ist, die optimal halbkugelförmige Prüfkörperoberfläche herzustellen. Die erforderliche Präzisierung der Beurteilung kann erreicht werden, indem die Auswertung der Abrasion nach einem genügend langen Einschleifvorgang erfolgt, der beim Test nach 5000 Zyklen als gegeben angenommen wurde.

So ergeben sich drei Gruppen für das Abriebverhalten der Materialien

- Enamelite und Ceramat (0,25 mg und 0,3 mg)
- Den-Mat und Facett-on (beide 0,5 mg)
- Restorative Resin (1,0 mg).

Eine Beurteilung nach dem zeitlichen Verlauf des Abrasionsverhaltens der untersuchten Materialien zeigt unter Vernachlässigung der ersten Messung (Einschleifvorgang) bei vier Materialien eine Abnahme der spezifischen Abrasion (Enamelite, Ceramat, Den-Mat und Restorative Resin), dagegen bei Material Facett-on eine erhebliche Zunahme. Das Verhalten von Enamelite, Ceramat, Den-Mat und Restorative Resin deutet darauf hin, daß nicht allein die Kraft für die Abrasion ausschlaggebend war, sondern vermutlich auch der Druck wegen der sich vergrößernden Schliffacetten. Eine Erklärung für das Ergebnis bei dem Versuch mit dem Material Facett-on kann darin bestehen, daß es zu einer plastischen Verformung bei zunehmender Abrasionsfläche und dem anschließenden Abriß von "Graten" kommt.

Weiterhin machte sich der von HOTZ (36) beschriebene Effekt bemerkbar, daß nämlich zu Beginn des Versuches die Probe nur auf ihrer organischen Matrix belastet wird. Erst wenn diese Oberflächenschicht durchbrochen ist, werden die anorganischen Füllkörper belastet, und die Widerstandsfähigkeit des Materials wird hauptsächlich durch die Haftfähigkeit des Silanbinders bestimmt (vergleiche Messung 1 mit Messung 2 oder 3).

Vergleicht man die Variationskoeffizienten, so fallen die hohen Werte für Ceramat, Den-Mat und Restorative Resin auf. Dies hängt sicherlich damit zusammen, daß diese Materialien sehr schnell aushärten und sich in größeren Mengen, wie sie in der praktischen Anwendung kaum erforderlich sein werden, nur schlecht verarbeiten ließen. Es bildeten sich nämlich leicht Inhomogenitäten durch nicht angelöste Pulverkörnchen - das betraf vor allem Den-Mat -, durch Lufteinschlüsse beim Stopfen der Form und durch zu schnelles Aushärten, trotz Kühlen von Material und Geräten. Obwohl nur solche Körper zum Versuch kamen, die makroskopisch einwandfrei waren, war im mikroskopischen Bereich ein solcher Fehler nicht leicht zu vermeiden. Die Frage, ob die von GALLER (28) beschriebenen unterschiedlichen Qualitäten des Spülwassers hinsichtlich Stärke und Richtung für die Streuungen verantwortlich sind, ist nicht geklärt, erscheint aber auch als weniger wesentlich für deren Entstehung.

4. FARBBESTÄNDIGKEIT

4.1. Einleitung

Um Farbbeständigkeit von Füllungs- und Verblendungskunststoffen bemüht man sich seit deren Einführung vor etwa 40 Jahren (8, 9, 38, 58, 61). Allerdings ist Farbkonstanz, insbesondere bei den Kaltpolymerisaten, nicht immer zufriedenstellend gewährleistet.

Veränderungen der Farbe wirken sich bei Keramik-Reparaturmassen besonders ungünstig aus, da an keramisch verblendetem Zahnersatz generell höhere ästhetische Anforderungen gestellt werden. Darüber hinaus sind meist Schneidekanten und Ecken betroffen, die vom Beobachter vorrangig wahrgenommen werden, aber auch am intensivsten natürlicher Bestrahlung ausgesetzt sind, einer der nachgewiesenermaßen wirkungsvollsten Ursachen von Verfärbungen.

Neben weiteren verschiedenartigen Faktoren, die Ursache einer Verfärbung sein können, interessierten besonders die durch Licht hervorgerufenen Farbveränderungen. In der Literatur werden verschiedene Untersuchungsmethoden beschrieben: steht anfangs noch das Arbeiten mit direktem Sonnenlicht und rein visueller Begutachtung im Vordergrund, so stößt man in neueren Untersuchungen auf die Tatsache, daß die Anwendung von künstlichen Lichtquellen aller Art und Verwendung genormter visueller bzw. physikalischer Meßmethoden bevorzugt werden (10, 31, 34, 41, 43, 46, 63, 67, 68).

In diesem Teil der Arbeit sollen die Lichteichtheit der Keramik-reparaturmassen bei Xenonlichtbestrahlung während trockener und feuchter Lagerung, und an einem Teil der Proben die Farbveränderungen bei Lagerung im Dunkeln untersucht werden.¹

1 Die relevanten Begriffe werden folgendermaßen festgelegt:
Farbbeständigkeit bedeutet die Resistenz gegenüber allen möglichen Veränderungen der Farbe, welche durch alle möglichen Faktoren (Licht, Wasser, Lagerung im Dunkeln usw.) hervorgerufen werden können.
Lichtbeständigkeit meint das Bestehen aller Materialeigenschaften (Härte, Festigkeit, Farbe usw.) bei Belichtung.
Lichteichtheit bedeutet die Resistenz der Farbe gegenüber Lichteinwirkung.

4.2. Einteilung der Verfärbungen

Nach CASTAGNOLA/ARX (9) lassen sich Verfärbungen an Kunststoffen aufgrund deren Ursachen einteilen.

4.2.1. Exogene Faktoren

4.2.1.1. Beimischverfärbungen

Dazu sind alle Farbveränderungen durch Fremdmaterial zu zählen, das während des Anmischens unbeabsichtigt in Kontakt mit dem Kunststoff gelangt ist: Wasser, Metallabrieb der benutzten Spatel, Medikamente usw. Auch Verfärbungen, die durch verschiedene Mischungsverhältnisse von Monomer mit Polymer bzw. von Pulver mit Flüssigkeit oder von Paste mit Paste verursacht wurden, sind hier zu klassifizieren.

4.2.1.2. Kontaktverfärbungen

Dieser Teil umfaßt alle Veränderungen, die während bzw. direkt nach der Polymerisation stattfinden: Unterfüllungen, Matrizen, Cofferdam, Lacke können Abweichungen von der gewünschten Farbe verursachen.

4.2.1.3. Infiltrationsverfärbungen

Hierbei handelt es sich um Eindringen von Fremdstoffen aus Nahrung, Speichel, Medikamenten, Lippenstift usw. in den Kunststoff nach Erhärten der Füllung. Die Veränderungen beschränken sich auf eine dünne oberflächliche Schicht, die sich bei unsachgemäßer Verarbeitung des Füllungsmaterials, was Porositäten begünstigt, verstärken kann. In den meisten Fällen kann man sie wegpolieren.

4.2.2. Endogene Faktoren

4.2.2.1. Oxydationsverfärbungen

Die im Kaltpolymerisat zusätzlich enthaltenen Akzeleratoren (Benzoylperoxid) reagieren mit tertiären Aminen. Diese sollen durch die Peroxide an einer bestimmten Stelle des Benzolringes (Parastellung) oxydiert werden, wodurch ein Farbstoff entsteht (41).

Zur Verhinderung der Farbstoffbildung wurde vorgeschlagen, diese Stelle mit einem Substituenten zu besetzen, bzw. anstelle des Amins eine Toluolsulfinsäure zu benutzen.

4.2.2.2. Verfärbungen durch Temperatureinfluß

Erst Temperaturen von über 60°C vermögen Kaltpolymerisate zu verfärben. Die Ursache ist wahrscheinlich in der Verringerung des Polymerisationsgrades begründet, was einem korrosiven Vorgang vergleichbar ist (39).

4.2.2.3. Bestrahlungsverfärbung

Ursache für diese Art von Farbveränderungen ist die Wirkung von Lichtquanten. Seit die Verwendung von Kunststoffen als Füllungs-material in die Zahnheilkunde eingeführt wurde, hat man festgestellt, daß natürliches Licht Verfärbungen verursachen kann (9). Daraufhin systematisch unternommene Versuche bewiesen, daß die ultravioletten Strahlen des Sonnenlichtes dafür verantwortlich zu machen sind. Später wurde mit künstlichen Lampen experimentiert, die einen unterschiedlich großen ultravioletten Spektralanteil enthalten (34, 63, 67, 68). Heute gilt der Xenonstrahler als Testbelichtungs-lampe der Wahl (17, 18, 19, 31, 34, 41, 45, 46, 63, 67, 68).

Als Ursache der Verfärbung werden die Reaktion der im Akzelerator enthaltenen Peroxide mit den tertiären Aminen und ebenso der Kohlenstoff-Kettenabbau des Polymers durch energiereiche UV-Strahlung genannt. Auch das im Farbpigment des Kunststoffes enthaltene Titandioxid (TiO_2) soll den Abbau in Verbindung mit UV-Bestrahlung beschleunigen, da aus TiO_2 durch Einwirkung von Lichtquanten Ti_2O_3 und atomarer Sauerstoff entstehen können (39). Ebenso sieht man das an dem UV-Strahler entstehende Ozon als verantwortlich für einen Teil der Verfärbungen an.

4.2.3. Zusammenwirkung der Einzelursachen bei Belichtungsversuchen

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß bei Belichtungsversuchen alle endogenen Faktoren der Farbveränderungen zusammenreffen, und ein isoliertes Betrachten einzelner Faktoren nicht angemessen ist.

Will man beispielsweise die Wärmebeständigkeit testen, kann man die Proben im Dunkeln lagern, um so lichtbedingte Parameter auszuschalten. Bei einem Lichtechtheitsversuch werden sie jedoch immer gleichzeitig einer gewissen Wärme von etwa 25 - 45°C ausgesetzt. Auch ist es nicht möglich, auf oxydative Vorgänge im Innern des Kunststoffes verhindernden Einfluß zu nehmen.

Die exogenen Faktoren führen zwar alle zu unter Umständen starken Farbveränderungen in bezug auf das gewünschte Ergebnis, z.B. Farbgleichheit von Füllung und Zahn bzw. Verblendkrone, haben aber andererseits auf die relative Verfärbung bei Belichtung keinen Einfluß (41).

Die Pigmentierung des Kunststoffes und das Anmischverhältnis verändern den Ort einer Farbe innerhalb des Farbraumes, der Vektor der Veränderung durch endogene Faktoren bleibt jedoch konstant.

4.3. Belichtungsgerät

Nachdem sich gezeigt hatte, daß der UV-Anteil des Lichtspektrums die Verfärbungen verursacht, und in Versuchen die Farbveränderungen durch künstliche UV-Bestrahlung beschleunigt wurden, ergaben sich bei diesem zeitraffenden Vorgehen jedoch zwei schwerwiegende Nachteile:

- 1) Die Ergebnisse der verschiedenen Tests sind nicht miteinander vergleichbar, da jede Bestrahlungslampe ihren "eigenen" Kunststoff maximal verfärbt.
- 2) Lampen mit zu hohem UV-Anteil zerstören die Kunststoffoberfläche, es kommt zur Ausbildung winziger Poren, die als nichtabwischbarer weißer Belag in Erscheinung treten und ein weiteres Verfärben der darunterliegenden Schicht verhindern (41, 68).

Eine wesentliche Erleichterung und sachliche Spezifizierung des zeitraffenden Prüfens der Lichtbeständigkeit bietet demgegenüber der Xenonstrahler (17, 18, 19, 31, 34, 41, 46, 63, 68).

Die Kurzprüfung mit dieser Lampe hat gegenüber dem Naturversuch wegen der Unabhängigkeit von Ort, Klima und Jahreszeit den Vorteil der Reproduzierbarkeit der Versuche sowie wegen der Unabhängigkeit von Tag- und Nacht-Wechsel den Vorteil der verringerten Prüfzeit (20). Das in den folgenden Versuchen benutzte Schnellbelichtungstischgerät Suntest Nr. 7011 der Firma Hanau simuliert durch Filterung des Xenonlichtes Globalstrahlung hinter Fensterglas (2, 20).

Die Beleuchtungsstärke beträgt 150 klx, die Bestrahlungsstärke 830 W/m^2 im Wellenbereich zwischen 300 und 830 nm.

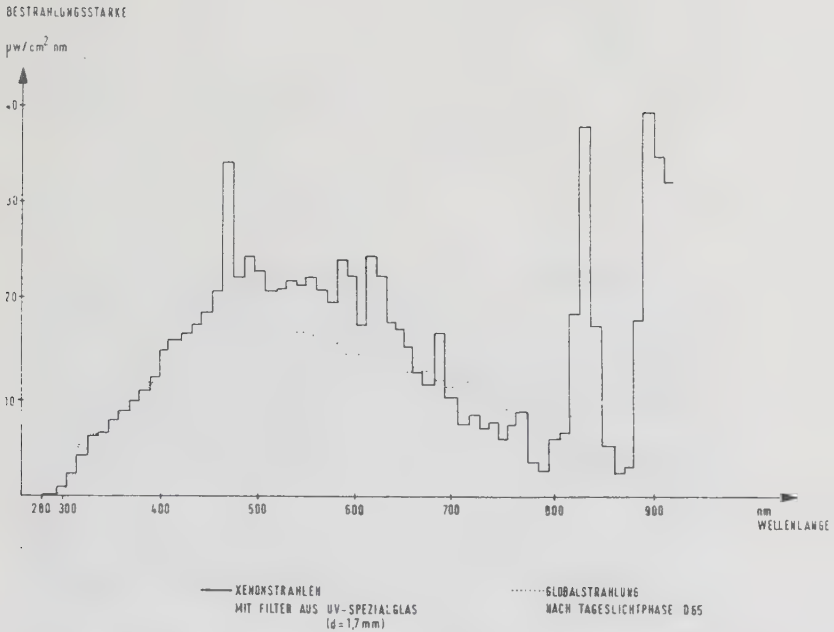


Abb. 14. Strahlungsspektrum des gefilterten Xenonlichtes und der Globalstrahlung (modifiziert nach 2 und 20).
D 65 entspricht Farbtemperatur Tageslicht 6500 K.

Ein rhythmisches Hell-Dunkel-Bestrahlen oder das Einstellen einer bestimmten Luftfeuchtigkeit ist nicht möglich, jedoch kann die Probenebene gegen eine andere, mit Anschlüssen zur Wasserflutung versehene, ausgetauscht werden. Im Falle der gegebenen Versuchsanordnung lagen die Proben auf einer ebenen Platte, die 23 cm von dem Xenonstrahler entfernt angebracht war. Die Temperatur auf der Probenebene beträgt nach Herstellerangaben ca. 45°C , wobei ein starkes Gebläse etwa gleichbleibende Temperatur bewirkt.

4.4. Farbmessung

4.4.1. Visuelle Verfahren

Die visuelle Beurteilung von Farben ist äußerst schwierig, da die Farbtemperatur der Beleuchtung, die Größe des zu bewertenden Gegenstandes, der diesen umgebende Hintergrund und sowohl Trainingszustand als auch Blickwinkel des Begutachters von entscheidender Bedeutung für den Grad der Genauigkeit sind (19, 26, 43, 47, 48, 51). Um den Vergleich zu erleichtern und die Zuverlässigkeit zu erhöhen, wurden direkt aneinandergrenzende verfärbte und nicht verfärbte, weil abgedeckte, Flächen bewertet. Trotzdem konnte eine nur qualitative bzw. nur grob quantitative Aussage bezüglich der Fragestellung getroffen werden, ob oder inwieweit Prüfkörper und Bezugskörper in der Farbnuancierung tatsächlich konstant blieben. Der wünschenswerte Grad der Validität wurde auf diesem Wege nicht erreicht.

Eine Verbesserung stellt das sogenannte Gleichheitsverfahren dar, bei dem die Farbe der Proben mit Hilfe von Farbtafeln verglichen und möglichst genau bezeichnet wird.

In der DIN 6173, 1 und 2 (14, 15) werden alle Faktoren, die die sogenannte Farbabmusterung beeinflussen, genormt: Lichtart, Lichteinfallwinkel und Beobachtungsrichtung, Größe und Lage der Proben, sowie Seheigenschaften des Beobachters, Leuchtdichteniveau und Umfeldbedingungen sind genau festgelegt.

4.4.2. Physikalische Methoden

4.4.2.1. Das Spektralverfahren

Das Spektralverfahren ist das genaueste Verfahren, um Farbänderungen zu erfassen (30, 34, 46, 63, 68). Man tastet Proben und Standard in kleinen Wellenlängenintervallen ab, Differenzen zwischen Meß-

und Standard-Lichtstrahl werden durch das definierte Einschleiben von einem Graukeil und einer Meßblende kompensiert. Die Meßergebnisse werden aufsummiert und zu den Farbnormwerten X , Y , Z verrechnet. Aus den Werten vor und nach der Farbbeständigkeitsprüfung kann dann der Farbabstand ΔE errechnet werden.

4.4.2.2. Das Dreibereichsverfahren

Diese Methode ist weniger komplex und für die hier durchgeführten Tests hinreichend genau (3, 10, 30, 43).

Begründet ist sie auf dem Umstand, daß die Empfindung einer Farbe abhängt von der spektralen Strahlungsverteilung S_λ der Beleuchtung, der Remission des Prüfkörpers $\beta(\lambda)$ und der physiologischen Reizempfindung des menschlichen Auges $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$.

Diese Reizempfindung wurde 1931 von der Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) in den spektralen Bewertungsfunktionen (Normspektralwertkurven) $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ festgelegt.

Die drei Kurven entsprechen dem menschlichen Empfinden für rot, grün und blau, hervorgerufen durch Licht von bestimmter Wellenlänge.

Die zugehörigen Normfarbwerte (DIN 5033; 11) X , Y , Z erhält man folgendermaßen:

$$X = c \cdot \int S_\lambda \cdot \beta(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = c \cdot \int S_\lambda \cdot \beta(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = c \cdot \int S_\lambda \cdot \beta(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda,$$

wobei c der Normierungsfaktor ist, damit für einen vollkommen matten weißen Körper ($\beta(\lambda) = 1$) der Farbnormwert $Y = 100$ wird. Daraus lassen sich die Farbnormwertanteile x , y , z errechnen:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}.$$

Um nun eine Körperfarbe zu kennzeichnen, braucht man zwei Angaben:

- 1) die Farbart, die durch die Farbnormwertanteile x , y eindeutig bestimmt ist,
- 2) den Hellbezugswert A'' , der dem Normfarbwert Y entspricht (30).

Zur graphischen Darstellung wird die CIE-Farbraumtafel benutzt.

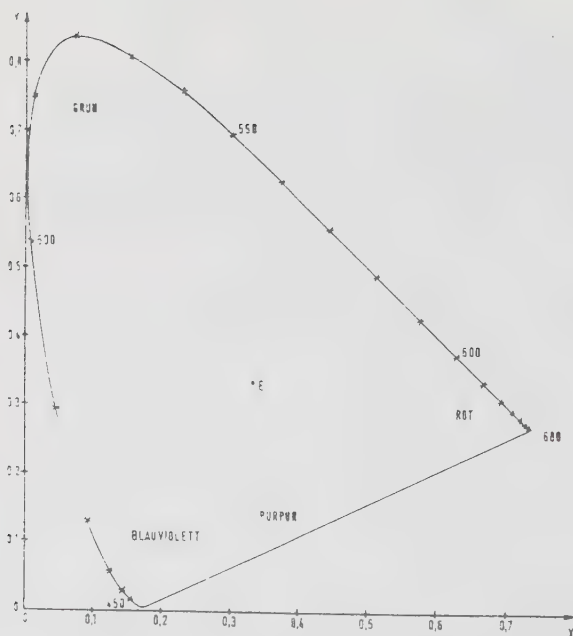


Abb. 15. Normfarbtafel für das 2° Normvalenzsystem nach DIN 5033,1 (11).

Die Achse des dritten Wertes, des Helligkeitswertes Y , steht senkrecht auf dieser Ebene.

Dieses System ist zwar leicht verständlich und mathematisch genau, der Nachteil liegt jedoch darin, daß gleiche Skalen-Abstände physiologisch nicht immer als gleich empfunden werden. So werden im blauvioletten Raum kleinste mathematische Abstände als Unterschiede erkannt, während im grünen Bereich mathematisch größere Abstände nicht mehr wahrgenommen werden (3).

Für dieses Problem fand McAdam folgende Lösung: er umschrieb die Flächen auf der CIE-Farbtafel, die von einem Normalbeobachter gerade noch als gleich erkannt werden. Graphisch ergeben sich Ellipsen, die vom blau-violetten zum grünen Bereich hin größere Flächen umschreiben.

Judd-Hunter entwickelte die entsprechenden Umrechnungsformeln, die zu dem empfindungsgemäßen L, a, b-Farbenraum (CIELAB) führten, in dem gleiche physiologische Farb-Differenzen den gleichen mathematischen Abständen annähernd entsprechen.

$$L = 10 Y$$

$$a_L = 17,5 \cdot Y \cdot \frac{1,02 \cdot x - y}{y}$$

$$b_L = 5,929 \cdot Y \cdot \frac{2,181 \cdot y + x - 1}{y}$$

bzw.

$$y = 0,01 L^2$$

$$x = \frac{a_L + 1,75 \cdot L}{5,645 \cdot L + a_L - 3,012 \cdot b_L}$$

$$y = \frac{1,786 \cdot L}{5,645 \cdot L + a_L - 3,012 \cdot b_L}$$

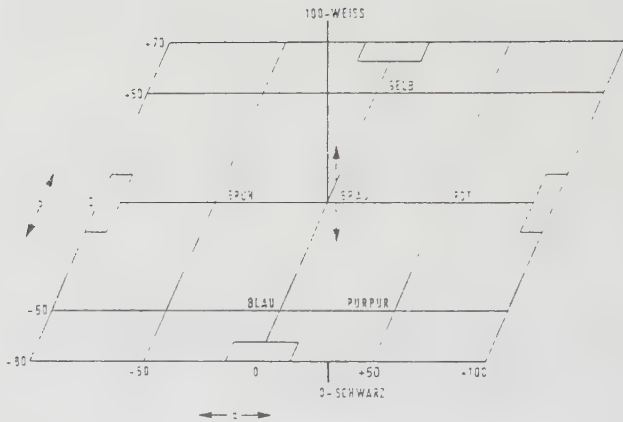


Abb. 16. Darstellung der Benennung eines Farbtons im Lab-System (3).

Die Farbdifferenz ergibt sich aus:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad \Delta E = \text{McAdams Einheit,}$$

wobei $2 \Delta E$ ($2 \Delta E = 1$ NBS-Einheit (National Bureau of Standards)) der für den geübten Beobachter gerade erkennbaren Farbdifferenz entsprechen.

4.5. Farbmeßgerät



Abb. 17. Farbmeßgerät Gardner XL 10 CDM.

In dem hier benutzten Farbmeßgerät Gardner XL 10 CDM, das nach dem Dreibereichs- oder Tristimulusverfahren arbeitet, wird die Probe im 45° Winkel beleuchtet, um Einflüsse durch Oberflächenstrukturen und Glanz zu vermeiden.

Der Lichtstrahl durchläuft 3 Filter, deren Filterkurven den Normspektralwertkurven $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ gemäß den Lutherbedingungen (DIN 5033,6;13) entsprechen.

Der von einer nachgeschalteten Fotozelle gemessene Strom ist proportional den Normfarbwerten X, Y, Z. Im angeschlossenen Rechner werden diese Werte verarbeitet und in L-, a-, b-Einheiten angezeigt.

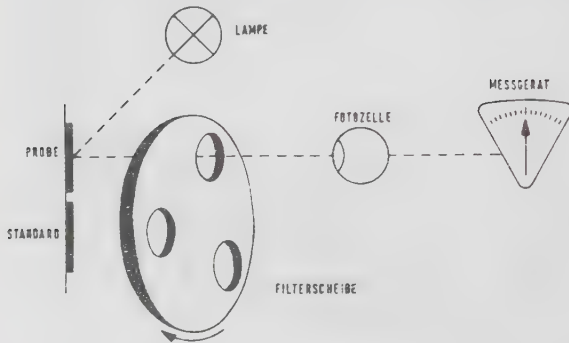
SCHEMA DES DREIBEREICHS - VERFAHRENS ($45^\circ/0^\circ$)

Abb. 18. Schema des Dreibereichsverfahrens. Beleuchtung unter einem 45° Winkel, Messung unter 0° (3).

Bevor mit den Messungen begonnen wird, muß das Meßgerät gegen Weißstandard geeicht werden. Hierbei legt man eine mattweiße Keramikplatte auf die Meßöffnung und justiert auf die zugehörigen L-, a-, b-Werte ein.

Das Gerät kann man dermaßen umstellen, daß das Licht durch die Probe hindurchfällt, und so die Transmission Tr meßbar ist.

Die Meßgenauigkeit beträgt bei allen Werten (L, a, b, Tr) etwa $\pm 0,1$ Einheiten, wobei eine Abweichung von $\Delta E \leq 0,1$ Farbgleichheit bedeutet.

4.6. Herstellen der Prüfkörper

Bei der Herstellung der Prüfkörper ergab sich das Problem, daß für die Farbbewertung im Meßgerät eine große Testfläche erforderlich war. Die dafür angespatelten Mengen werden in diesem Ausmaß in der Praxis nicht benötigt. Die Folge dieser Überportionierung war, daß das Kunststoffmaterial teilweise sehr schnell aushärtete und die Polymerisationsschrumpfung weitergehende Porenbildung bewirkte.

Ein weiteres Problem betraf die Farbgleichheit von Proben eines Produktes. Da nach Angaben des Herstellers der Kunststoff praxisnah vermittlels Meßlöffel und Pipette angemischt wurde, kam es im Mischverhältnis zu leichten Streuungen. Dies wirkte sich auf die Farbe aus, jedoch weder auf Lichtechtheit, noch auf die Farbdifferenzen, die sich während des Versuchsablaufes ergaben (41).

Hergestellt wurden kreisrunde Scheiben mit einem Durchmesser von 22 mm und einer Dicke von 1,9 mm ($\pm 1/10$ mm). Das Material wurde zwischen zwei Glasplatten gegeben - hierbei diente eine Edelstahlplatte von einer Dicke von 1,95 mm mit kreisrundem Ausschnitt als Abstandhalter - und mit 2,5 kg Masse belastet. Da Den-Mat- und Restorative Resin-Proben an den Glasplatten haften blieben und ohne Beschädigung kaum abzulösen waren, war es bei diesen Produkten erforderlich, die Glasscheiben mit Teflonspray zu isolieren. Alle Probenscheiben wurden danach mit einem neuen Hochglanzschwabbel und Kunststoffpolierpaste einseitig poliert, um gleichmäßige Oberflächen bei allen Materialien zu erzielen.

Für den ersten Teil des Farbbeständigkeitsversuches wurden jeweils vier Proben von einem Material gefertigt. Die Auswahl der Fabrikate Ceramat und Restorative Resin erfolgte willkürlich. Für den zweiten Teil, dem eigentlichen Lichtechtheitstest, wurden jeweils acht Prüfkörper hergestellt.

4.7. Versuchsablauf

4.7.1. Farbbeständigkeit

Im ersten Versuchsteil wurden die Farbveränderungen des Kunststoffes über einen längeren Zeitraum verfolgt (vgl. CAUL und SCHOONOVER; 10). Die erste Messung erfolgte direkt nach der Herstellung, dann wurde wöchentlich nachgemessen. Während des gesamten Zeitraumes wurden alle Prüfkörper in einer Blechdose in einem dunklen Raum bei 18°C trocken gelagert.

Als sich die Meßwerte kaum noch veränderten, wurde 24 Stunden mit dem Xenon-Gerät belichtet, anschließend wurden die Meßwerte bei Lagerung im Dunkeln weiter verfolgt.

Da sich die Kunststoffscheiben selbst bei Lagerung im Dunkeln farblich verändern, bedarf es eines zusätzlichen Standards: Hierfür wurden den Proben gleichfarbene Dentalkeramikscheiben benutzt. Auf diese Weise konnte der Farbabstand der Prüflinge vom Standardweiß zum Dentalkeramikkörper verringert werden, um so etwaig auftretende Meßfehler durch Veränderungen innerhalb des Gerätes, wie z.B. Spannungsschwankungen oder Abnutzung der Glühlampe, weitestgehend zu vermeiden.

4.7.2. Lichtechtheit

Im zweiten Teil des Versuches wurde ausschließlich die Farbbeständigkeit bei Belichtung, also die Lichtechtheit, geprüft.

Dabei wurde vorausgesetzt, daß nach einem Zeitraum von etwa 5 Wochen Austauschvorgänge und Nachpolymerisation nahezu abgeschlossen sind (9, 10, 39, 62). Es ist also anzunehmen, daß anschließend auftretende Farbveränderungen nur noch auf Lichteinwirkung beruhen.

Die Hälfte der 8 Prüfkörper kam nach der Herstellung für 5 Wochen in ein auf 18°C temperiertes Wasserbad, die andere Hälfte wurde während derselben Zeit trocken gelagert. Nun wurden die Proben gemessen. Jeweils drei wurden mit der Xenon-Lampe 24 Stunden belichtet, und die vierte wurde als Standard im Dunkeln aufbewahrt. Danach wurden Prüflinge und Standard gemessen. Die meßgerätbedingte Farbveränderung der vierten Probe, deren Farbe als konstant angenommen wurde, dienten hierbei als Korrekturfaktor für das Überprüfen der übrigen drei Proben. Bei der Messung konnte vermittels einer minimalen Bleistiftmarkierung am Rande der Scheibe darauf geachtet werden, daß die Prüfkörper immer die gleiche Lage einnahmen.

Das Experiment mit den Naß-Proben erfolgte auf dem gleichen Wege. Während der Belichtung der Körper wurde die Flutungsanlage (Best.-Nr. 002198) der Firma Hanau benutzt. Dabei war das Zeitschaltwerk ausgeschaltet, so daß der Probenraum ständig 5 mm hoch geflutet wurde, und das Lüftungsgebläse unentwegt in Betrieb war. Auf diese Weise wurden Überhitzung und Austrocknen der Prüfkörper verhindert.

4.8. Ergebnisse

4.8.1. Farbbeständigkeit

Die Farbbeständigkeit von Ceramat und Restorative Resin ist in den folgenden Schaubildern (Abb. 19 S.38 und Abb. 20 S. 39) wiedergegeben.

FARBBESTÄNDIGKEIT

CERAMAT

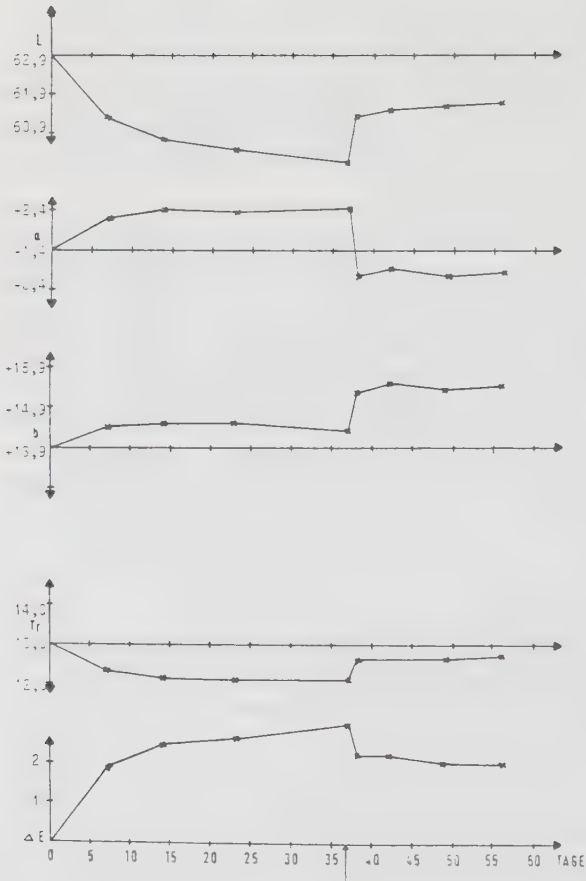


Abb. 19. Farbbeständigkeit der 4 Ceramatproben (trockene Lagerung) während 56 Tagen. Gemessen wurden: Helligkeitswert L, Rot-Grün-Anteil a, Gelb-Blau-Anteil b und Transmission Tr. Weiterhin ist der Farbabstand ΔE angegeben. 24stündige Belichtung am 37. Tag.

FARBBESTÄNDIGKEIT

RESTORATIVE RESIN

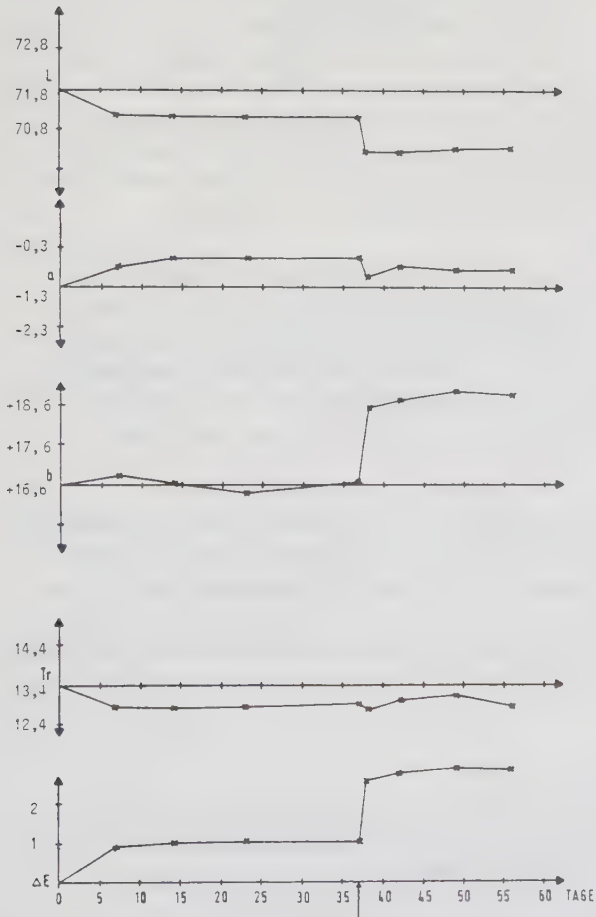


Abb. 20. Farbbeständigkeit der 4 Restorative Resinproben (trockene Lagerung) während 56 Tagen. Gemessen wurden: Helligkeitswert L, Rot-Grün-Anteil a, Gelb-Blau-Anteil b und Transmission Tr. Weiterhin ist der Farbabstand ΔE angegeben. 24stündige Belichtung am 37. Tag.

Die Reparaturmassen veränderten sich innerhalb der ersten 15 Tage nach der Herstellung ohne Lichteinwirkung. Bei Ceramat war eine erste erkennbare Farbveränderung ($\Delta E > 2$) nach etwa 9 Tagen erreicht. Beide Kunststoffe dunkelten nach. Dabei nahm der Rot- (positiver a-Wert) und Gelbanteil (positiver b-Wert) bei Ceramat zu, bei Restorative Resin nahm der Grünanteil (negativer a-Wert) ab, und der Gelbanteil blieb gleich. In beiden Fällen nahm die Transmission (Tr) proportional zum Helligkeitswert (L) ab. Vom 15. bis zum 37. Versuchstag verliefen die Farbänderungskurven nahezu gerade, weitere Farbdifferenzen traten also nicht mehr auf.

Unter Belichtung verhielten sich die Materialien unterschiedlich. Die Farbveränderung von Restorative Resin nahm zu, nur der a-Wert näherte sich wieder dem Ausgangswert vor Belichtung. Bei Ceramat glich die Lichteinwirkung die Spontanveränderung teilweise wieder aus: der Kunststoff hellte sich auf, der a-Wert fiel, die Transmission stieg wieder, nur der b-Wert nahm weiter zu.

Nach der Belichtungsperiode fanden nur noch geringe Veränderungen statt: Restorative Resin zeigte in gewissem Ausmaß phototropes Verhalten, indem der a-Wert und die Transmission wieder stiegen, allerdings erhöhte sich auch der b-Wert. Bei Ceramat stieg der L-Wert noch um ein geringes, die anderen Werte blieben fast konstant.

4.8.2. Lichtechtheit

Die Ergebnisse der Lichtechtheitsversuche geben die Abb. 21 bis Abb. 25 (s. nächste Seiten) wieder.

LICHTECHTHEIT

HELLIGKEITSWERT

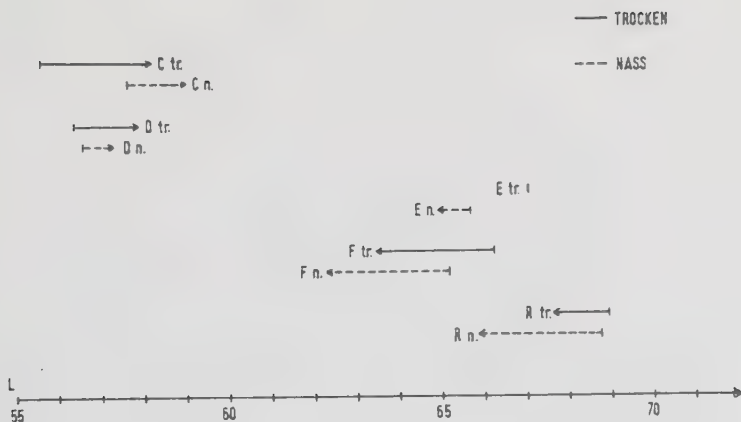


Abb. 21. Lichtechtheit der Kunststoffe Ceramat (C), Den-Mat (D), Enamelite (E), Facett-on (F) und Restorative Resin (R). Gemessen wurde die Veränderung des Helligkeitswertes L durch 24stündige Belichtung mit gefiltertem Xenonlicht (Helligkeitswert L von 0 = schwarz bis 100 = vollkommen mattweißer Körper).

LICHTECHTHEIT

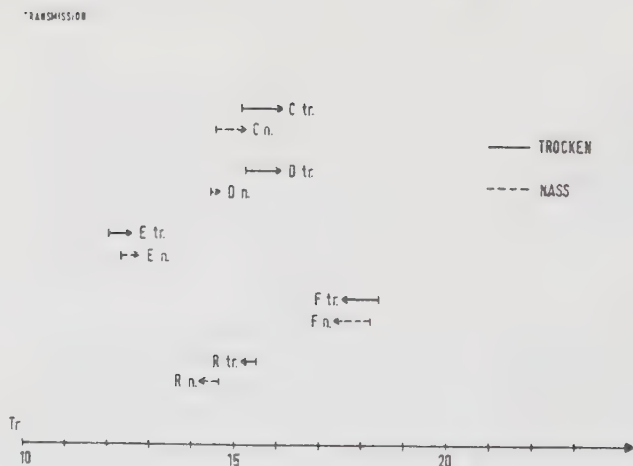


Abb. 22. Lichtechtheit der Kunststoffe Ceramat (C), Den-Mat (D), Enamelite (E), Facett-on (F) und Restorative Resin (R). Gemessen wurde die Veränderung der Transmission (Tr) durch 24stündige Belichtung mit gefiltertem Xenonbogenlicht (Transmission (Tr), von 0 bis 100, gibt den Anteil der Strahlung an, die nach Abzug von Reflektion und Absorption durch die Probe hindurchgeht).

LICHTECHTHEIT

FARBEBENE

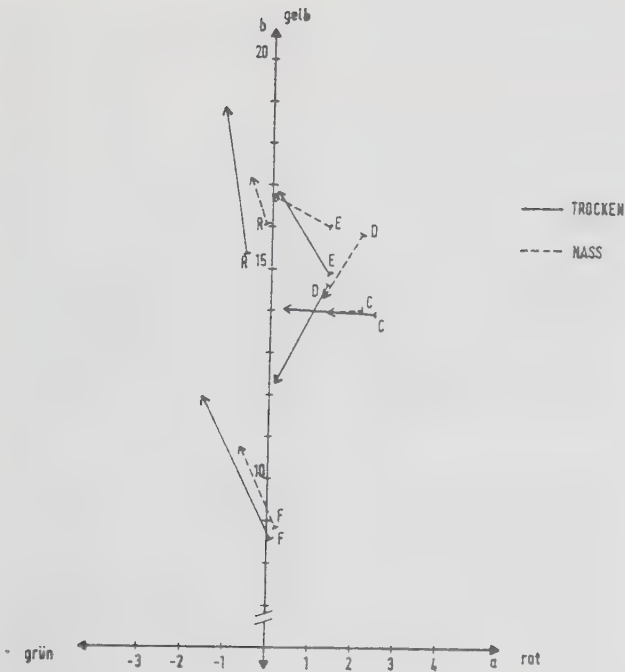


Abb. 23. Lichtechtheit der Kunststoffe Ceramat (C), Den-Mat (D), Enamelite (E), Facett-on (F) und Restorative Resin (R). Gemessen wurde die Veränderung des a-Wertes (rot - grün) und b-Wertes (gelb - blau) durch 24stündige Belichtung mit gefiltertem Xenonlicht.

LICHTTECHTHEIT

FARBÄNDERUNG

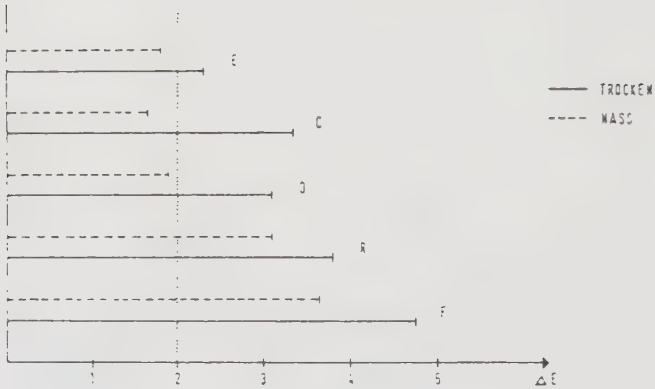


Abb. 24. Lichtechtheit der Kunststoffe Ceramat (C), Den-Mat (D), Enamelite (E), Facett-on (F) und Restorative Resin (R). Farbdifferenz ΔE durch 24stündige Belichtung mit gefiltertem Xenonlicht ($\Delta E = 2$ entspricht der gerade erkennbaren Farbveränderung).

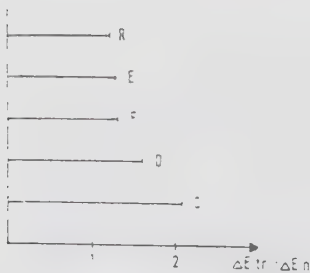


Abb. 25: Verhältnis der Farbveränderungen der trocken gelagerten zu den naßgelagerten Proben.

Zu ersehen ist das völlig unterschiedliche Verhalten der einzelnen Produkte. Die Helligkeitswerte L der Proben Enamelite, Facett-on, Restorative Resin nahmen ab, dagegen erhöhten sie sich bei Den-Mat und Ceramat. Auffallenderweise wurden bei den nachdunkelnden Materialien die naßgelagerten Prüfkörper stärker verändert, bei den heller werdenden Kunststoffen aber die trocken aufbewahrten. Bei den Proben Ceramat, Facett-on und Restorative Resin waren die Helligkeitsänderungen mit dem Auge erkennbar.

Bei allen Proben verringerte sich der a-Wert, teilweise fiel er sogar in den negativen a-Bereich, das Grünfeld. Dies war bei Facett-on besonders deutlich.

Bei Betrachtung des b-Wertes, der als Gelb die wesentliche Farbkomponente bildete, wird das unterschiedliche Reagieren auf Belichtung ebenfalls deutlich. Er erhöhte sich bei Enamelite, Facett-on und Restorative Resin, verringerte sich bei Den-Mat und blieb gleich bei Ceramat. Hier betrug die Veränderung der Naßwerte etwa immer nur die Hälfte derjenigen der Trockenwerte.

Auch bei der Transmission findet man divergierende Veränderungen: Sie nahm bei Proben von Enamelite, Den-Mat und Ceramat zu, bei Facett-on und Restorative-Resin-Körpern ab.

Bezüglich der ΔE -Werte läßt sich festhalten, daß die Farbveränderungen aller trocken aufbewahrten Proben die visuell erkennbare Schwelle von $\Delta E = 2$ überschritten. Bei den naß gelagerten, die wesentlich farbstabiler waren, lagen die Verfärbungen von Ceramat, Den-Mat und Enamelite unter $\Delta E = 2$, von Facett-on und Restorative Resin darüber.

4.9. Diskussion der Ergebnisse

Zunächst läßt sich festhalten, daß die Untersuchungen der Autoren CAUL und SCHOONOVER (10) (auch 9, 34, 63) als bestätigt gelten können. Kunststoffe als Farbstandards zu definieren, ist zumindest für den Zeitraum von 3 Wochen nach Herstellung nicht empfehlenswert, da sie sich während dieser Zeit farblich selbsttätig verändern. Dazu kommt, wie die vorliegende Untersuchung belegt, die Tatsache, daß durch Belichtung Farbveränderungen provoziert werden können, die auch im Anschluß an die Belichtungsperiode andauern, und/oder weiter variieren.

Die Lichtechtheitstests zeigen, daß von Farbveränderungen besonders stark die Materialien Facett-on und Restorative Resin betroffen werden, bei denen der Farbabstand sowohl der Naß- als auch der Trocken-Proben über $\Delta E = 3$ liegt. Die besten Testergebnisse zeigen, naß aufbewahrt, die Produkte Den-Mat, Enamelite und Ceramat. Bei diesen liegt der Farbabstand zwischen $\Delta E = 1,5$ und $\Delta E = 2,0$. Insgesamt läßt sich ersehen, daß sich alle trocken gelagerten Materialien in einem Ausmaß verfärben, das visuell erkennbar ist, die Farbabstände sind nämlich alle größer als $\Delta E = 2$.

Generell ist also anhand der Versuchsergebnisse festzustellen, daß es für den Verlauf eines derartigen Experimentes sehr wichtig ist, alle Proben naß zu lagern, da die ΔE -Werte der trocken aufbewahrten Prüfkörper etwa eineinhalbmals höher sind. Dazu kommt, daß die Naßlagerung eher der klinischen Realität entspricht. Es ist zu folgern, daß Farbbeständigkeitstests nur unter Anwendung der Naßlagerung von Proben durchgeführt werden sollten.

Auffallend sind weiterhin die zum Teil recht großen Farbdifferenzen zwischen Prüfkörpern eines Materials. Dieser Umstand fällt bereits rein visuell ins Gewicht. Bedingt ist er wahrscheinlich durch trotz Anleitungsbeachtung verschieden proportioniertes Anmischen. Bei der Messung vor Belichtung zeigen die Helligkeitswerte der Proben Ceramat, Den-Mat und Facett-on größere Abweichungen, dagegen erscheinen alle Prüfkörper von Enamelite und vor allem von Restorative Resin einheitlich in der Farbe.

Abschließend läßt sich noch anmerken, daß beim eigentlichen Belichtungsvorgang Randbedingungen wie Wärme und Spontanveränderung im Kunststoff nicht vollständig eliminiert werden können. Ausschließlich die Lichtechtheit auszutesten, ist deshalb kaum möglich. Andererseits ist es diffizil, eine Prognose zu stellen hinsichtlich der Frage, ob sich die getesteten Kunststoffe in der Realität, unter klinischen Bedingungen, qualitativ und quantitativ versuchsanalog verfärben. In der Praxis kommen nämlich weitere Störfaktoren hinzu, außerdem können diese sich unter Umständen, zumindestens teilweise, aufheben. Auch bei der vorliegenden Untersuchung stellt sich das Problem, wie genau das Modell an die Wirklichkeit angenähert werden kann. Durch Verwendung der sonnenähnlichen Xenonlampe, Beibehaltung einer Temperatur von maximal 45°C und Lagerung der Proben im Nassen dürften zur Erreichung dieses Zieles entscheidende Schritte unternommen worden sein.

4.10. Kritische Stellungnahme zu vorgeschriebenen Prüfmethoden

In den DIN-Vorschriften (19) wird neben anderen Tests auch die Lichtbeständigkeitsprüfung für "zahnärztliche Kunststofffüllungswerkstoffe" angeführt. Wie im vorliegenden Versuch soll hierbei für die 24-stündige Bestrahlung eine Xenonlampe benutzt werden, und die Prüfkörper sind 10 ± 5 mm tief in $37^\circ \pm 1^\circ\text{C}$ warmes Wasser einzulegen.

Anders als bei dem eigenen Versuch sind jedoch folgende Konditionen: zunächst werden die Probekörper bereits eine Stunde nach Herstellung dem Bestrahlungslicht ausgesetzt, und weiterhin werden die Plättchen rein visuell mit unbestrahlten gleichaltrigen Probekörpern verglichen. Dabei wird weder berücksichtigt, daß sich die Farbe des Kunststoffes gerade in den ersten 24 Stunden nach Herstellung auch ohne Belichtung stark verändern kann, noch, daß außerdem Farbveränderungen durch Wasseraufnahme erfolgen können:

beim Experiment wurden durch Wasseraufnahme z.B. die Enamelite-Proben dunkler, die Facett-on-Proben heller.

Beim Belichtungsversuch nach DIN-Vorschrift wird ein Probe-Körper trocken im Dunkeln gelagert, der andere im Wasserbad liegend belichtet, wobei letzterer zur Hälfte abgedeckt ist. Nach der Belichtungszeit kann man also drei verschiedenfarbige Flächen bewerten.

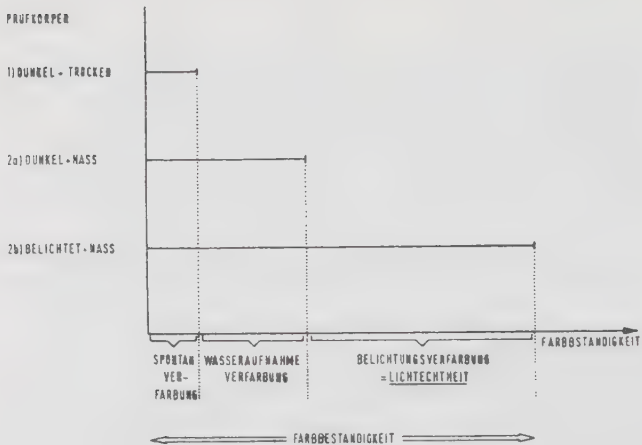


Abb. 26. Schema "Farbbeständigkeit in bezug auf Lagerung der Prüfkörper".

Das bedeutet, daß die Lichtehttheit ausschließlich durch die Farbdifferenz zwischen der belichteten und unbelichteten Hälfte bestimmt wird.

Die Farbbeständigkeit jedoch, d.h. die Summe aller infrage kommenden farblichen Veränderungen, verursacht durch alle Faktoren, ist nicht bestimmbar. Denn wie obige Testergebnisse anschaulich machen, wird sich auch die dunkel und trocken gelagerte Probe farblich verändern.

ZUSAMMENFASSUNG

Untersucht wurden fünf verschiedene Keramikreparaturmaterialien: Ceramat (C), Den-Mat (D), Enamelite (E), Facett-on (F) und Restorative Resin (R)¹ im Hinblick auf Wasseraufnahme, Abriebhärte und Farbbeständigkeit.

1. Wasseraufnahme

1.1. Bei Beobachtung der Wasseraufnahme ergab sich, daß nach 35 Tagen keines der Materialien eine Sättigung zeigte. C, E und D nahmen im genannten Zeitraum etwa 0,5 % des Eigengewichtes an H_2O auf, während R und F etwa vierfache Werte, also 2 % mehr an Eigengewicht erreichten.

1.2. Danach wurde die jeweilige Wasserabgabe der einzelnen Materialien gemessen: Bemerkenswert war die gegenüber den übrigen Materialien um ein vielfaches geringere Wasserabgabe von R.

2. Ergebnisse der Tests der Abriebfestigkeit

Zu messen waren die abgeriebenen Massen. Bei E und F wurden etwa 1 mg abradier, bei C etwa 1,5 mg und bei D und R ca. 2 mg. Beurteilt wurden einmal der Abrieb nach Beendigung eines Einschleifvorgangs, zum anderen der spezifische Abrieb pro 1000 Abriebzyklen. Ersteres ergab eine relativ hohe Widerstandsfähigkeit von E (0,25 mg) und C (0,3 mg), mittlere Werte bei D und F (je 0,5 mg) und eine stärkere Abrasion bei R (1,0 mg). Die spezifische Abrasion reduziert sich während des Testverlaufes bei den Materialien E, C, D und R, bei F dagegen nimmt sie zu. Es wird auf ein Zusammenwirken von Kraft und Druck hinsichtlich des Abrasionsvorganges geschlossen.

¹ Im folgenden soll die jeweilige Stellung der Buchstaben (Materialproben) zueinander eine Rangreihe im Kontext der angeführten Ergebnisse ausdrücken.

3. Prüfung der Farbbeständigkeit

Die Farbbeständigkeit wurde auf zwei Wegen geprüft: einmal wurden die Farbveränderungen durch Lagerung im Dunkeln während 37 Tagen, der 24stündige Belichtung mit der Xenonlampe und weitere Lagerung im Dunkeln folgten, beobachtet; zum anderen wurde speziell die Lichtechtheit naß gelagerter und trocken gelagerter Proben bewertet. Gemessen wurde nach dem Dreibereichsverfahren mit dem Gardner 10 CDM Meßgerät.

Es zeigte sich, daß sich die Proben schon durch Lagerung im Dunkeln farblich sehr stark veränderten. Es wurden C und R überprüft:

Bei C ergab sich für $\Delta E = 3$, bei R ist $\Delta E = 1$.

Durch die nachfolgende Belichtung näherten sich die Werte für C wieder dem Ausgangswert, dagegen wichen die Werte für R weitergehend ab.

Bei den Belichtungsversuchen mit der Xenonlampe verfärbten sich die trocken gelagerten Proben etwa 1,5 - 2 mal so stark wie die naß gelagerten. Nur die nassen Prüfkörper C, E und D lagen unter der visuell erkennbaren Schwelle von $\Delta E = 2$, wesentlich weniger farbbeständig sind R (naß: $\Delta E = 3,1$; trocken: $\Delta E = 3,8$) und F (naß: $\Delta E = 3,6$; trocken $\Delta E = 4,7$).

4. Ergebnis der Untersuchung

Aufgrund der Ergebnisse der durchgeführten Tests empfiehlt sich für die Praxis die Verwendung von E und C, wobei letzteres in großer Farbvielfalt angeboten wird.

Zu berücksichtigen ist hierbei, daß sich Ergebnisse aus dem Laborversuch bei definierten Bedingungen nur begrenzt auf die tägliche Praxis und die Komplexität all ihrer Parameter übertragen lassen.

LITERATURVERZEICHNIS

- 1) Bakland, L.K.
Eine Möglichkeit, Porzellan-Verblendungen im Mund zu erneuern.
Quintess. zahnärztl. Lit. 6, Ref. 4588 (1972)
- 2) Bedienungsanleitung:
Schnellbelichtungstischgerät Suntest Art.-Nr. 7011
- 3) Bedienungsanleitung:
Gardner Farbmeßgeräte Serie XL-20 bis XL-30.
Kurze Einführung in die Farbmeterik und Funktion von Gardner-Dreifilter Farbmeßgeräte.
- 4) Beger, G.
Abrasionsmessung an zahnärztlichen Werkstoffen nach Kontaktreibung.
Med. Diss. Mainz 1975
- 5) Bieske, B.H.
Neue Methode zur Untersuchung der Abriebfestigkeit zahnärztlicher Materialien.
Dtsch. Stomat. 8, 565 - 572 (1968)
- 6) Bohren, H.
Klinische Untersuchung über Verfärbung von Kaltplast.
Quintess. zahnärztl. Lit. 12, Ref. 2508 (1964)
- 7) Bremser, E.
Vergleichende Untersuchungen über den Einfluß der Hydro-Pneumatischen Heißpolymerisation nach dem Hedent-Verfahren auf Dichte, Abrieb und Härte zahnärztlicher Kunststoffe.
Med. Diss. Mainz 1971
- 8) Castagnola, L., und Carberoglio, R.
Heutiger Stand und Zukunftsaussichten der plastischen Füllungsmaterialien.
Quintess. zahnärztl. Lit. 6, 7 und 8, Ref. 4587 (1972)
- 9) Castagnola, L., und Arx, H. v.
Selbstpolymerisierende Kunststoffe.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 64, 1103 und 1245 (1954)
- 10) Caul, H., und Schoonover, J.
The color stability of direct filling resins.
J. Amer. dent. Ass. 47, 448 - 452 (1953)
- 11) DIN 5033, 1*
Farbmessung: Grundbegriffe der Farbmeterik, März 1979
- 12) DIN 5033, 2
Farbmessung: Normvalenz Systeme, April 1972

* Alle DIN Vorschriften von Beuth-Verlag, GmbH, 1000 Berlin 30.

- 13) DIN 5033, 6
Farbmessung: Dreibereichsverfahren, August 1976
- 14) DIN 6173, 1
Farbalmusterung: Allgemeine Farbalmusterungsbedingungen, Januar 1975
- 15) DIN 6173, 2
Farbalmusterung: Beleuchtungsbedingungen für künstliches Tageslicht, Januar 1975
- 16) DIN 6174
Farbmetrische Bestimmungen von Farbabständen bei Körperfarben nach der CIELAB-Formel, Januar 1979
- 17) DIN 13907 (Entwurf)
Prothesenkunststoffe: Anforderungen, Prüfungen, Mai 1975
- 18) DIN 13914
Kunststoffzähne: Anforderungen und Prüfungen, August 1975
- 19) DIN 13922
Kunststofffüllungswerkstoffe: Anforderungen und Prüfungen, Februar 1979
- 20) DIN 53389
Kurzprüfung der Lichtbeständigkeit: Simulation von Globalstrahlung hinter Fensterglas durch gefilterte Xenon-Strahlung, April 1974
- 21) DIN 53516
Bestimmung des Abriebs: Prüfung von Kautschuk und Elastomeren, Januar 1977
- 22) DIN 54001
Prüfung der Farbechtheit von Textilien: Herstellung und Handhabung des Graumaßstabes zur Bewertung der Änderung der Farbe, Dezember 1969
- 23) DIN 54004
Prüfung der Farbechtheit von Textilien: Bestimmung der Lichtechtheit von Färbungen und Drucken mit künstlichem Tageslicht (gefiltertes Xenon-Bogenlicht), April 1966
- 24) DIN 54071
Prüfung der Farbechtheit von Textilien: Bestimmung der Wetterechtheit von Färbungen und Drucken in Apparaten (Künstliche Bewetterung, Xenonbogenlicht), September 1971
- 25) Drum und Körper
Briefwechsel: Abriebwirkung von Porzellan- und Plast-Zähnen, Quintess. zahnärztl. Lit. 8, Ref. 1696 (1961)
- 26) FDI
Spezifikation Nr. 3 - Spezifikation für Prothesenkunststoffe Zahnärztl. Mitt. Nr. 3 (1967)

- 27) Frenkel, U.
Werkstoffkundliche Untersuchungen an Füllungskunststoffen.
Med. Diss. Bonn 1971
- 28) Galler, D.
Abrasionsmessung an Kunststoffen nach Kontaktreibung.
Med. Diss. Mainz 1977
- 29) Gerhardt, P.
Untersuchungen über Struktur, Dichte, Wasseraufnahme und Löslichkeit zahnärztlicher Kunststoffe.
Med. Diss. Berlin 1974
- 30) Geutler, G.
Zur Farbmessung nach dem Dreibereichsverfahren
- 31) Haufglöckner, H., und Woebcken, W.
Zeitraffendes Prüfen und Bewerten der Licht- und Alterungsbeständigkeit von Kunststoffen nach Bestrahlen mit dem Xenon-Strahler
Kunststoffe 60, 391 - 397 (1970)
- 32) Henkel, G.
Chemie, Physik und Technologie zahnärztlicher Kunststoffe.
Zahnärztl. Fortbildung, 3 (1949)
- 33) Henkel, G.
Über die Ursachen der Abrasion von Metallen durch Kunststoffe.
Dtsch. Stomat. 19, 112 - 119 (1969)
- 34) Hintze, H.
Klinische und Physikalische Untersuchungen der Farbbeständigkeit von zahnärztlichen Füllungskunststoffen.
Med. Diss. Berlin 1975
- 35) Höhnle, Th.
Über eine experimentelle Methode zur Prüfung der Abrasion von Kunststoffzähnen.
Med. Diss. Homburg/Saar 1971
- 36) Hotz, P.
Die Abrasion von Composites.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 3, 253 - 262 (1975)
- 37) Houken, P.
Experimentelle Untersuchungen der Härte- und Haftfähigkeit von Reparaturmaterialien für die Metallkeramik.
Med. Diss. Mainz 1979
- 38) Houwink, R.
Chemische und physikalische Grundlagen sowie Prüfungsmethoden.
Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1954
- 39) Janke, G.
Über Abbauvorgänge an zahnärztlichen Kunststoffen (Alterung und Korrosion).
Dtsch. zahnärztl. Z. 3, 684 - 695 (1967)

- 40) Kerschbaum, Th., und Voß, R.
Guß- und metallkeramische Verblendkrone im Vergleich.
Ergebnisse einer Nachuntersuchung bei Teilprothesenträgern.
Dtsch. zahnärztl. Z. 32, 200 - 206 (1977)
- 41) Kruse, F.
Der Einfluß von kurzwelligem Licht auf die Farbbeständigkeit
und Alterung neuer Verblendkunststoffe.
Med. Diss. Köln 1974
- 42) Lemire, P., und Burk, B.
Farbe und Zahnersatz.
Quintessenz-Verlag 1979
- 43) Leopold, D.
Farbmetrische Untersuchungen an Zahnersatzmaterialien - ein
Beitrag zur Problematik der Zahnfarbe.
Med. Diss. Kiel 1972
- 44) Marx, H., und Houken, P.
Experimentelle Untersuchungen der Härte und Haftfähigkeit
von Reparaturmaterialien für die Metallkeramik.
Dtsch. zahnärztl. Z. 33, 405 - 468 (1978)
- 45) Marx, H.
Zur Frage der Farbbeständigkeitsprüfung zahnärztlicher
Kunststoffe.
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 1472 - 1475 (1968)
- 46) Marx, H.
Zur Farbbeständigkeitsprüfung zahnärztlicher Kunststoffe.
Dtsch. zahnärztl. Z. 31, 616 - 619 (1976)
- 47) Matthews, T.G.
Eine Methode zur Farbauswahl.
Quiness. zahnärztl. Lit. 11 und 12, Ref. 6159 (1980)
- 48) McLean, J.
Die Farbanpassung.
Die Quintessenz der Zahntechnik 3, Ref. 440 (1979)
- 49) Meyer, H.
Über die Abriebfestigkeit zahnärztlicher Kunststoffe.
Dtsch. zahnärztl. Z. 3, 180 - 183 (1955)
- 50) Meyer, H.
Über die Ursachen der Abrasio dentis.
Dtsch. zahnärztl. Z. 14, 941 - 948 (1959)
- 51) Powers, J., Und Lepeak, P.
Parameters that Affect the Color of Denture Resins.
J. dent. Res. 56, 1331 - 1335 (1977)

- 52) Rarisch, B.
Longitudinalstudie über die Abrasion von Kunststoffzähnen
bei Teilprothesen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 34, 619 - 621 (1979)
- 53) Rehberg, H.J.
Composite Filling Materials.
Zahnärztl. Mitt. 4, 159 - 164 (1973)
- 54) Reinhardt, K.J., und Vahl, J.
Restmonomergehalt und Wasseraufnahme UV-polymerisierbarer
Adhäsive und Füllungskunststoffe.
Dtsch. zahnärztl. Z. 35, 564 - 570 (1980)
- 55) Ritze, H.
Quellung und Kunststoffe.
Dtsch. zahnärztl. Z. 11, 1245 - 1251 (1965)
- 56) Ritze, H., und Ude, H.J.
Artikulation und Abrasion.
Dtsch. zahnärztl. Z. 18 (1961)
- 57) Roulet, J.F., Mettler und Friedrich
Die Abrasion von Amalgam und Komposits im Seitenzahnbereich.
Dtsch. zahnärztl. Z. 33, 206 - 209 (1978)
- 58) Santorik, St.
Neue Untersuchungen über sogenannte selbstpolymerisierende
Kunststoffe.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 12, 1198 - 1229 (1950)
- 59) Schmitt, J.
Klinische Untersuchungen über den Kunststoff - Enamelite -
Med. Diss. Mainz 1974
- 60) Schmitz, Kh., Dougherty, E., Catts, R., Müller, G., Komma, O.,
Schulmeyer, H.
Über den Einfluß organischer Füllstoffe auf die Abrasions-
festigkeit dentaler Kunststoffe.
Dental-Labor 6, 615 - 622 (1973)
- 61) Schröder, A., und Castagnola, L.
Die Autopolymerisate.
Bücher für die zahnärztliche Praxis, Bd 15, 1951
- 62) Schröder, D.
Reparaturen an metallkeramisch verblendetem Zahnersatz.
Dtsch. zahnärztl. Z. 33, 461 - 464 (1978)
- 63) Schulze, W.
Farbveränderungen von zahnärztlichen Kunststoffen durch
UV-Strahlung.
Med. Diss. Berlin 1976

- 64) Streitl, E.H.
Zur Abrasion an Kronen- und Brückenmaterial mit und ohne anorganischen Füllstoffen.
Dental-Labor, H. 12 (1974)
- 65) Taege, F.
Vergleichende Abriebfestigkeit an Kunststoffen.
Dtsch. Stomat. 11, 870 - 873 (1961)
- 66) Uetz, H., und Föhl, J.
Grundvorstellungen zum Ansatz von Verschleiß-Simulationsversuchen.
Dental-Labor 1, 39 - 42 (1976)
- 67) Viohl, J., und Schulze, W.
Farbveränderungen von Kunststoffen im Wasserbad durch UV-Strahlung.
Zahnärztl. Welt 11 (1977)
- 68) Viohl, J.
Verfärbung von Kunststoffen durch unterschiedliche Lichtquellen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 31, 910 - 914 (1976)

Wasseraufnahme 1/10 mg		Ceramiat									
		P r o b e									
Tag	1	2	3	4	5	6	$\bar{x}$	$\Delta 1/10 \text{ mg}$	$\Sigma \text{ mg pro g}$		
0. Tag	5007	5100	5031	4996	4960	4973	5011				
8. Tag	5035	5116	5031	5013	4964	4985	5024	13		2,6	
13. Tag	5031	5119	5050	5016	4979	4997	5032	8		4,2	
18. Tag	5042	5127	5058	5034	4979	5001	5040	8		5,8	
20. Tag	5034	5132	5062	5030	4983	4999	5040	0		5,8	
25. Tag	5034	5134	5072	5026	4980	5002	5041	1		6,0	
35. Tag	5050	5150	5078	5043	4996	5013	5055	14		8,8	
Gesamt-Diff. 35 Tage	43	50	47	47	36	40	44				

Wasserabgabe 1/10 mg		$\Sigma \text{ mg pro g}$									
Minuten		$\bar{x}$	$\Delta 1/10 \text{ mg}$								
0		5063									
10		5052	- 11						2,2		
35		5048	- 4						3,0		
65		5046	- 2						3,4		
105		5046	0						3,4		
240		5043	- 3						4,0		
480		5040	- 3						4,6		

Wasseraufnahme 1/10 mg		Den-Mat								
		P r o b e								
Tag		1	2	3	4	5	6	$\bar{x}$	Δ 1/10 mg	Σ mg pro g
0. Tag		4309	4267	4356	4797	4766	5070	4594	14	3,0
8. Tag		4324	4275	4381	4813	4776	5081	4608	-1	2,8
13. Tag		4320	4277	4371	4809	4778	5086	4607	+5	3,9
18. Tag		4325	4282	4375	4818	4784	5089	4612	-3	3,3
20. Tag		4323	4285	4377	4808	4782	5081	4609	+1	3,5
25. Tag		4322	4283	4371	4816	4783	5087	4610	+7	5,0
35. Tag		4328	4289	4378	4823	4793	5093	4617		

Wasserabgabe 1/10 mg				
		M i n u t e n		
Minuten		$\bar{x}$	Δ 1/10 mg	Σ mg pro g
0		4511		
35		4503	- 8	1,8
60		4503	0	1,8
120		4502	- 1	2,0
240		4501	- 1	2,2
480		4500	- 1	2,4
600		4499	- 1	2,7
1440		4497	- 2	3,1

Wasseraufnahme 1/10 mg		Enamelite							
Tage	f	P r o b e						$\Delta 1/10$ mg	Σ mg pro g
		2	3	4	5	6	$\bar{x}$		
0. Tag	4273	4551	4642	4275	4651	4058	4408		
8. Tag	4283	4565	4656	4281	4660	4071	4419	11	2,5
13. Tag	4294	4575	4660	4283	4665	4085	4427	8	4,3
18. Tag	4290	4570	4660	4285	4665	4078	4425	-2	3,9
20. Tag	4300	4585	4660	4290	4670	4086	4432	+7	5,4
25. Tag	4300	4586	4662	4291	4669	4087	4433	1	5,7
35. Tag	4289	4582	4669	4297	4677	4087	4435	2	6,1
Gesamt-Diff. Tage	25	31	27	22	26	29	27		

Minuten	$\bar{x}$	$\Delta 1/10$ mg	Σ mg pro g
0	4433		
30	4425	8	1,8
100	4424	1	2,0
255	4423	1	2,3
435	4422	1	2,5
1420	4420	2	2,9
1500	4418	2	3,4

Wasseraufnahme 1/10 mg			Probe				Facett-on		
Tag	1	2	3	4	5	6	$\bar{x}$	$\Delta 1/10$ mg	Σ mg pro g
0. Tag	2817	2856	3076	3057	3023	2959	2965		
8. Tag	2852	2900	3115	3094	3062	3009	3005	40	13,5
13. Tag	2854	2901	3135	3098	3073	3002	3011	6	15,5
18. Tag	2863	2905	3129	3107	3067	3008	3013	2	16,2
20. Tag	2870	2920	3131	3110	3076	3015	3020	7	18,5
25. Tag	2875	2921	3129	3111	3072	3012	3020	0	18,5
35. Tag	2880	2923	3139	3118	3086	3024	3028	8	21,3
Gesamt-Diff. 35 Tage	63	67	63	61	63	65	63		
Wasserabgabe 1/10 mg			Probe				Facett-on		
Minuten			$\bar{x}$	$\Delta 1/10$ mg			Σ mg pro g		
0			2980						
35			2955	25			8,4		
60			2954	1			8,7		
120			2951	3			9,7		
240			2949	2			10,4		
480			2944	5			12,1		
600			2943	1			12,4		
1440			2937	6			14,4		

Wasseraufnahme 1/10 mg Restorative Resin

Tage	P r o b e						Σ mg pro g
	1	2	3	4	5	6	
0. Tag	2986	3015	3046	3004	2935	2998	2997
8. Tag	3022	3041	3082	3034	2962	3041	3030
13. Tag	3022	3047	3092	3054	2973	3047	3039
18. Tag	3018	3055	3087	3052	2980	3050	3040
20. Tag	3025	3052	3085	3054	2973	3057	3041
25. Tag	3040	3068	3095	3051	2982	3078	3052
35. Tag	3040	3063	3100	3057	2984	3051	3049

Gesamt-
Diff. 35
Tage

Wasserabgabe 1/10 mg

Minuten	$\bar{x}$			Δ 1/10 mg	Σ mg pro g
	$\bar{x}$	Δ	1/10 mg		
0	3017				
30	3011		6		2,0
65	3010		1		2,3
100	3009		1		2,7
175	3008		1		3,0
250	3007		1		3,3
520	3004		3		4,3
1420	3000		4		5,6

Spezifisches Gewicht

a) über Längenmessung und Wägung:

	Gewicht (g)	Durch- messer (c)	Höhe (cm)	Volumen (cm ³)	Spez. Gewicht (g/cm ³)
C	5,7183	2,26	0,77	3,09	1,85
D	5,4542	2,26	0,78	3,13	1,74
E	6,2131	2,26	0,95	3,81	1,63
F	4,3485	2,26	0,95	3,81	1,14
R	3,5134	2,26	0,76	3,05	1,15

b) über Dichtewägung nach dem Archimedischen Prinzip:

	Tauchwert	Trockenwert	spez. Gewicht ¹⁾ (g/cm ³)
C	1,5762	1,2703	1,86
D	1,6080	1,2946	1,74
E	1,6457	1,3436	1,64
F	1,7836	1,4108	1,15
R	1,7897	1,4897	1,16

1) errechnet sich aus: $\text{g/cm}^3 = \frac{1,8400 - \text{Trockenwert}}{\text{Tauchwert} - \text{Trockenwert}} \cdot 0,9982$

Undrehungen	Probe						Standard- abweichung	Variations- koeffizient
	1	2	3	4	5	6	$\bar{x}$	
0	4302	4264	4311	4806	4763	5068	4586	
1000	4295	4255	4294	4799	4745	5049		
0 - 1000	7	9	17	7	18	19	12,8	5,74
5000	4294	4251	4292	4797	4737	5042		
1000 - 5000	1	4	2	2	8	7	4,0	2,90
10000	4289	4250	4292	4790	4733	5034		
5000 - 10000	5	1	0	7	4	8	4,2	3,19
0 - 10000	13	14	19	16	30	34	21,0	8,85
								42,2
Abrasions- fläche mm	3,14	4,01	3,80	3,70	5,81	6,07	4,42	1,21

Keramikgegenkörper

	1	2	3
0	15 918	15 479	15 336
10000	15 913	15 475	15 332
$\bar{x}$	5	4	4
$\bar{\bar{x}} =$	4		

Abrasion 1/10 mg

Enamelite

Umdrehungen	Probe						$\bar{x}$	Standard- abweichung	Variations- koeffizient
	1	2	3	4	5	6			
0	4743	4283	4560	4651	4662	4070	4495		
1000	4740	4276	4554	4645	4658	4065			
0 - 1000	3	7	6	6	4	5	5,2	1,47	
5000	4736	4273	4550	4645	4653	4062			
1000 - 5000	4	3	4	0	5	3	3,2	1,72	
10000	4733	4271	4550	4641	4652	4060			
5000 - 10000	3	2	0	4	1	2	2,0	1,41	
0 - 10000	10	12	10	10	10	10	10,3	0,82	7,9
Abrasions- fläche mm	3,17	2,30	2,90	3,27	3,37	2,72	2,96	0,40	

Keramikgegenkörper

	1	2	3
0	15 883	15 709	15 780
10000	15 882	15 708	15 799
Δx	1	1	1
$\bar{x}$	1		

Abrasion 1/10 mg		Facett-on					
Umdrehungen	Probe						Standard- abweichung/ Variations- koeffizient
	1	2	3	4	5	6	$\bar{x}$
0	2856	2902	2662	3111	3074	3005	2935
1000	2851	2899	2660	3107	3070	3000	
0 - 1000	5	3	2	4	4	5	3,8
5000	2849	2897	2659	3105	3070	2999	1,17
1000 - 5000	2	2	1	2	0	1	1,3
10000	2847	2891	2652	3102	3065	2996	0,82
5000 - 10000	2	6	7	3	5	3	4,3
0 - 10000	9	11	10	9	9	9	9,5
							8,8
Abrasions- fläche $\frac{1}{min}$	4,64	4,71	5,23	4,26	3,53	3,40	4,30
							0,71

	Keramikgegenkörper			
	1	2	3	4
0	15 869	15 752	15 678	15 498
10000	15 866	15 751	15 675	15 497
$\bar{x}$	3	1	3	1
$\bar{x}$	2			

Abrasion 1/10 mg Restorative Resin

Umdrehungen	Probe						Standard- abweichung	Variations- koeffizient
	1	2	3	4	5	6	$\bar{x}$	
0	3008	3042	3017	3071	3094	3026	3043	
1000	3000	3038	3012	3061	3082	3023		
0 - 1000	8	4	5	10	12	3	7	3,58
5000	2992	3028	3006	3055	3078	3014		
1000 - 5000	8	10	6	6	4	9	7,2	2,23
10000	2981	3020	3000	3055	3065	3007		
5000 - 10000	11	8	6	5	13	7	8,3	3,08
0 - 10000	27	22	17	21	29	19	22,5	4,64
								20,6
Abrasions- fläche mm ²	7,50	6,33	6,11	5,35	5,27	6,70	6,21	0,84

Keramikgegenkörper

	1	2	3
0	15 811	15 733	15 533
10000	15 807	15 731	15 531
$\bar{x}$	4	2	2
$\bar{x} =$	3		

Farbbeständigkeit

Ceramati I

Tag	Probe	Stan- dard	1	2	3	4	$\bar{x}$	Diff. zu Standard	Diff. zu Versuchsbeginn	
0.	L	61,2	62,8	59,6	62,7	62,6	61,9	+0,7		
	a	+0,3	+1,4	+1,3	+1,5	+1,4	+1,4	+1,1		
	b	+14,7	+14,0	+13,8	+14,0	+13,6	+13,9	-0,8		
	Tr	12,8	13,0	14,2	12,5	12,5	13,0	+0,3		
7.	L	60,9	60,2	57,9	60,9	60,0		-0,9	-1,6	
	a	+0,2	+2,2	+1,9	+2,3	+2,1		+1,9	+0,8	$\Delta E =$
	b	+14,6	+14,5	+14,3	+14,6	+13,9		-0,3	+0,5	
	Tr	12,9	12,4	13,7	11,9	11,9		-0,4	-0,7	
14.	L	60,8	59,9	57,2	60,1	60,2		-1,5	-2,2	
	a	+0,2	+2,4	+2,3	+2,4	+2,2		+2,1	+1,0	$\Delta E =$
	b	+14,6	+14,7	+14,5	+14,5	+14,0		-0,2	+0,6	
	Tr	12,7	12,0	13,3	11,5	11,6		-0,6	-0,9	
23.	L	60,7	59,6	56,8	59,7	60,1		-1,7	-2,4	
	a	+0,1	+2,1	+2,1	+2,1	+1,9		+2,0	+0,9	$\Delta E =$
	b	+14,5	+14,4	+14,3	+14,5	+13,7		+0,2	+0,6	
	Tr	12,7	12,0	13,5	11,5	11,6		-0,6	-0,9	
37.	L	61,2	59,3	56,4	59,8	61,1		-2,1	-2,8	
	a	+0,1	+2,3	+2,3	+2,2	+2,2		+2,1	+1,0	$\Delta E =$
	b	+14,6	+14,6	+14,4	+14,3	+13,6		-0,4	+0,4	
	Tr	12,6	11,9	13,1	11,4	11,5		-0,6	-0,9	
38.	L	60,9	60,7	57,5	61,1	60,7		-0,9	-1,6	
	a	-0,0	+0,3	+0,3	+0,4	+0,5		+0,4	-0,7	$\Delta E =$
	b	+14,5	+15,3	+14,7	+15,3	+14,7		+0,5	+1,3	
	Tr	12,8	12,8	13,7	12,1	12,1		-0,1	-0,4	
42.	L	60,5	60,8	57,3	60,6	60,5		-0,7	-1,4	
	a	+0,1	+0,8	+0,6	+0,7	+0,6		+0,6	-0,5	$\Delta E =$
	b	+14,5	+15,4	+15,0	+15,5	+15,0		+0,8	+1,6	
	Tr	keine Messung								

Farbbeständigkeit

Cerammat II

Tag	Probe	1	2	3	4	$\bar{x}$	Diff. zu Standard	Diff. zu Versuchsbeginn	
49.	L	60,8	61,1	57,7	61,1	60,9	-0,6	-1,3	
	a	-0,3	+0,0	+0,1	+0,1	+0,2	+0,4	-0,7	
	b	+14,6	+15,6	+14,0	+15,5	+14,9	+0,6	+1,4	$\Delta E = 2,03$
	Tr	12,9	13,0	13,8	12,2	12,2	-0,1	-0,4	
56.	L	60,4	60,9	57,4	60,8	60,6	-0,5	-1,2	
	a	+0,3	+0,7	+0,8	+0,9	+0,9	+0,5	-0,6	
	b	+14,5	+15,5	+14,9	+15,4	+15,0	+0,7	+1,5	$\Delta E = 2,01$
	Tr	12,6	12,6	13,7	12,1	12,1	+0,0	-0,3	

Farbbeständigkeit

Restorative Resin II

Tag	Probe	Standard	1	2	3	4	$\bar{x}$	Diff. zu Standard	Diff. zu Versuchsbeginn	
49.	L	66,4	70,1	69,8	69,6	70,6		+3,6	-1,5	
	a	-1,8	-1,7	-2,1	-1,9	-1,5		+0,0	+0,4	
	b	+16,2	+19,7	+18,3	+18,7	+18,5		+2,6	+2,3	$\Delta E = 2,77$
	Tr	13,7	12,9	13,8	13,5	12,9		-0,4	-0,3	
56.	L	66,2	69,9	69,7	69,2	70,3		+3,6	-1,5	
	a	-1,1	-1,0	-1,2	-1,1	-0,7		+0,0	+0,4	
	b	+16,0	+19,4	+18,2	+18,6	+18,0		+2,5	+2,2	$\Delta E = 2,69$
	Tr	13,8	12,7	13,8	13,4	12,7		-0,7	-0,6	

Lichtechtheit

Ceramat

Probe vor Belichtung					Standard- abweichung	Probe nach Belichtung					$\bar{x}$	$2_b - 4_b$	$1_b - 1_o$	$(2_b - 4_b) - (2_o - 4_o)$	corr.
1_o	2_o	3_o	4_o	$2_o - 4_o$		1_b	2_b	3_b	4_b						
naß															
L	58,7	56,6	59,7	56,3	57,5	2,3	58,9	58,6	61,0	57,6	59,1	+0,2	+1,6	+1,4	
a	+2,4	+2,5	+2,0	+2,2	+2,2		+2,0	+1,2	+0,8	+0,9	+1,0	-0,4	-1,2	-0,8	
b	+14,6	+14,2	+14,0	+13,7	+14,0		+14,2	+13,7	+13,7	+13,2	+13,5	-0,4	-0,5	-0,1	
Tr	14,3	14,6	14,3	15,0	14,6		14,1	14,7	15,1	15,6	15,1	-0,2	+0,5	+0,7	
														$\Delta E = 1,6$	
trocken															
L	56,9	56,4	52,4	57,6	55,5	2,3	57,1	59,2	55,4	60,3	58,3	+0,2	+2,8	+2,6	
a	+2,0	+2,3	+2,6	+2,6	+2,5		+1,7	+0	+0,1	+0,1	+0,1	-0,3	-2,4	-2,1	
b	+14,2	+13,6	+13,6	+14,5	+13,9		+14,1	+13,5	+13,6	+14,5	+13,9	-0,1	+0,0	+0,1	
Tr	14,6	15,2	16,2	14,2	15,2		14,6	16,0	17,2	15,1	16,1	+0	+0,9	+0,9	
														$\Delta E = 3,3$	

Lichtechtheit

Den-Mat

	Probe vor Belichtung					$\bar{x}$ $2_0^{-4}0$	Standard- abweichung	Probe nach Belichtung					$\bar{x}$ $2_b^{-4}b$	$1_b^{-1}b$	$(2_b^{-4}b)-(2_0^{-4}0)$	corr.
	1_0	2_0	3_0	4_0	1_b			2_b	3_b	4_b						
naß																
L	56,6	56,3	54,3	59,0	56,5	1,92		56,6	56,9	54,9	59,7	57,2	0	+0,7	+0,7	
a	+2,1	+2,1	+2,6	+2,0	+2,2			+1,9	+0,8	+1,5	+0,9	+1,1	-0,2	-1,1	-0,9	
b	+15,0	+16,2	+16,0	+15,2	+15,8			+14,7	+14,5	+13,9	+13,7	+14,0	-0,3	-1,8	-1,5	
Tr	14,3	14,4	15,8	13,4	14,5			14,5	14,9	16,0	13,9	14,9	+0,2	+0,4	+0,2	
															$\Delta E = 1,9$	
trocken																
L	59,7	55,6	55,2	58,0	56,3	2,1		59,0	56,6	56,6	59,6	57,6	-0,2	+1,3	+1,5	73
a	+1,6	+1,2	+1,4	+1,5	+1,4			+1,9	+0,5	+0,6	+0,8	+0,6	+0,3	-0,8	-1,2	
b	+14,8	+14,8	+14,6	+14,6	+14,7			+14,8	+12,2	+12,0	+12,6	+12,3	+0	-2,4	-2,4	
Tr	14,0	16,0	15,5	14,3	15,3			13,9	16,6	16,2	15,2	16,0	-0,1	+0,7	+0,8	
															$\Delta E = 3,1$	

Lichtechtheit

Enamelite

	Probe vor Belichtung				$\bar{x}$ 2_0-4_0	Standard- abweichung	Probe nach Belichtung				$\bar{x}$ 2_b-4_b	1_b-1_0	$(2_b-4_b)-(2_0-4_0)$ corr.	
	1_0	2_0	3_0	4_0			1_b	2_b	3_b	4_b				
naß														
L	64,2	65,4	66,1	64,9	65,6	0,8	64,3	64,7	65,3	64,1	64,9	+0,1	-0,7	-0,3
a	+1,5	+1,5	+1,2	+1,3	+1,4		+1,9	+0,5	+0,3	+0,5	+0,4	+0,4	-1,0	-1,4
b	+16,0	+16,0	+15,7	+15,8	+16,0		+16,1	+16,8	+16,6	+16,7	+16,8	+0,1	+0,8	+0,7
Tr	12,2	11,8	11,7	11,6	11,4		12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	+0	+0,4	+0,4
														$\Delta E = 1,3$
trocken														
L	68,1	66,9	66,8	67,4	67,0	0,6	67,9	66,9	66,6	67,0	66,8	-0,2	-0,2	+0
a	+1,2	+1,4	+1,5	+1,4	+1,4		+1,5	+0,2	+0,9	+0,3	+0,5	+0,3	-0,9	-1,2
b	+15,0	+15,0	+13,8	+15,5	+14,8		+15,1	+17,2	+16,0	+17,5	+16,9	+0,1	+2,1	+2,0
Tr	10,9	10,3	12,3	10,9	11,2		10,8	10,9	12,5	11,3	11,6	-0,1	+0,4	+0,5
														$\Delta E = 2,3$

Lichtechtheit

Facett-on

Probe vor Belichtung					$\bar{x}$ 2_0-4_0	Stand- dard- abwei- chung	Probe nach Belichtung				$\bar{x}$ 2_b-4_b	1_b-1_0	$(2_b-4_b)-(2_0-4_0)$	corr.
1_0	2_0	3_0	4_0	1_b			2_b	3_b	4_b					
naß														
L	65,1	64,7	67,8	63,7	65,4	1,7	65,4	61,8	64,6	61,9	62,8	+0,3	-2,6	-2,9
a	+0,4	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2		+0,2	-0,8	-0,8	-0,7	-0,8	-0,2	-1,0	-0,8
b	+9,0	+8,7	+8,9	+8,7	+8,8		+9,2	+10,8	+11,1	+10,8	+10,9	+0,2	+2,1	+1,9
Tr	17,9	18,5	17,4	19,0	18,3		18,0	17,9	16,5	18,4	17,6	+0,1	-0,7	-0,8
													$\Delta E =$	3,6
trocken														
L	66,6	63,8	65,9	68,8	66,2	2,06	66,6	60,4	63,8	66,0	63,4	+0,0	-2,8	-2,8 ⁷⁵
a	+0,1	+0,0	+0,1	+0,1	+0,1		-0,1	-1,9	-1,7	-1,8	-1,8	-0,2	-1,9	-1,7
b	+8,6	+8,3	+8,6	+8,6	+8,5		+8,7	+11,6	+12,1	+12,2	+12,0	+0,1	+3,5	+3,4
Tr	18,0	20,3	18,0	17,3	18,5		18,1	19,5	17,2	16,6	17,8	+0,1	-0,7	-0,8
													$\Delta E =$	4,7

Lichtechtheit

Restorative Resin

Probe vor Belichtung					Probe nach Belichtung					$\bar{x}$	$2_b - 4_b$	$1_b - 1_o$	$(2_b - 4_b) - (2_o - 4_o)$	corr.
1_o	2_o	3_o	4_o	$\bar{x}$	Standard- abweichung	1_b	2_b	3_b	4_b					
naß														
L	68,0	68,0	69,5	65,5	68,7	0,1	67,8	65,1	67,5	64,1	65,6	-0,2	-3,1	-2,8
a	-0,4	-0,1	-0,1	+0,0	-0,1		-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	+0,2	+0,4
b	+15,4	+15,6	+14,3	+18,0	+16,0		+15,8	+17,8	+16,5	+18,2	+17,5	+0,4	+1,5	+1,1
Tr	15,0	14,9	14,8	14,4	14,7		15,2	14,8	14,7	18,9	14,5	+0,2	-0,2	-0,4
											$\Delta E =$	3,1		
trocken														
L	69,0	69,0	68,9	68,8	68,9	0,1	69,0	67,5	67,6	67,6	67,6	+0,0	-1,3	-1,3
a	-0,8	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6		-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,5	+0,4	+0,9	+0,5
b	+15,0	+15,3	+15,4	+15,2	+15,3		+15,2	+19,1	+19,0	+18,8	+19,0	+0,2	+3,7	+3,5
Tr	15,9	15,4	15,7	15,6	15,6		16,0	15,3	15,4	15,4	15,4	+0,1	-0,2	-0,3
											$\Delta E =$	3,8		

Herrn Professor Dr. Heinz M a r x danke ich für die freundliche Überlassung des Themas, Herrn Professor Dr. K. Fuhr für die Übernahme des zweiten Gutachtens.

Ich danke Herrn Dr. Stender und Herrn Kohlhaas für ihre nützlichen Ratschläge bei den Abrasionsversuchen und Herrn Dr. Schmitz, Herrn Sarter und Frau Pschorn von der Zahnfabrik Wienand in Spremlingen für die Beratung bei den Farbbeständigkeitstests und für die Überlassung des Farbmeßgerätes.

L e b e n s l a u f

05.09.1953	Geburt als einziges Kind des Hoteliers Karl Kern und seiner Ehefrau Johanna, geb. Senft, in Kaiserslautern.
Ostern 1960 bis Ostern 1965	Besuch der vier Grundschulklassen in der Röhm- schule Kaiserslautern.
Ostern 1965	Eintritt in das Altsprachliche Gymnasium Kaisers- lautern.
1970	2. Preis beim Landeswettbewerb "Jugend forscht" mit der Arbeit über "Verhaltensforschung an Reptilien".
Herbst 1971	Wechsel in das Otfried von Weißenburg-Gymnasium in Dahn, Kreis Pirmasens.
Mai 1973	Reifeprüfung am Otfried von Weißenburg-Gymnasium.
01.10.1973	Immatrikulation an der Universität Kaiserslautern für das Studium der Chemie.
01.01.1974 bis 31.03.1975	Ableistung des Grundwehrdienstes in Koblenz, davon 6 Monate in der Zahnstation.
01.04.1975	Aufnahme des Zahnmedizinstudiums in Mainz.
19.03.1976	Naturwissenschaftliche Vorprüfung.
10.10.1977	Zahnärztliche Vorprüfung.
03.07.1980	Approbation als Zahnarzt
01.10.1980 bis 31.12.1980	Tätigkeit als Assistenz-Zahnarzt bei Dr. Galloy, Mainz-Lerchenberg.
Seit 01.01.1981 bis heute	Assistenz-Zahnarzt bei Dr. Closhen, Sprendlingen/ Rheinessen.
29.05.1981	Eheschließung mit Diplom-Pädagogin Gundula Licht.

D. GRÄBNER

DISSERTATIONS U. OFFSETDRUCKEREI



Gotenstraße 3
8602 Altendorf bei Bamberg
Telefon: 09545 / 8791